

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Hodnocení kvality PVD povlaku na nástrojích

Classification of the Quality PVD Coating on  
Tools

Student:

Radim Sousedík

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2009

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářské práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBTUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářské práci, nebo poskytnutí licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta

**Adresa trvalého bydliště studenta:**

Radim Sousedík  
J. z Poděbrad 11  
787 01 Šumperk

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

SOUSEDÍK, R. Hodnocení kvality PVD povlaku na nástrojích. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 60 s. Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Podjuklová, J. CSc.

Bakalářská práce se zabývá hodnocením kvality PVD povlaků firmy SHM-cz, se sídlem v Šumperku. V první části bakalářské práce je věnována pozornost studii povlakovaných slinutých karbidů (SK) a vysvětlení metod PVD a CVD povlaků. V dalších dvou částech práce je rozbor současného stavu povlakování firmy SHM-cz a na tuhle část práce je navázána i studie nanášení povlaku firmy SHM-cz. Na základě rozboru a získaných informací je navrhována metodika hodnocení kvality PVD povlaku pro experimentální zkoušky. V poslední části práce jsou provedeny a zpracovány experimentální zkoušky hodnocení kvality PVD povlaku a obohaceny obrázky a tabulkami. Na závěr celé bakalářské práce je zhodnocení všech experimentálních zkoušek a výsledků, které byly dosaženy.

### **Klíčová slova:**

- PVD povlak, povlakování nástrojů, hodnocení povlakovaných nástrojů, povrchové úpravy

## **ANNOTATION OF THESIS**

SOUSEDÍK, R. Classification of the Quality PVD Coating on Tools. Ostrava: Department of mechanical technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2009, 60 p. Thesis, head: doc. Ing. Podjuklová, J. CSc.

This thesis deals with evaluating the quality of PVD coatings by the Company SHM-cz based in Šumperk. The first part of the thesis is devoted to a study of cemented carbide coatings and an explanation of the method of PVD and CVD coating. The next two part one an analyses of the current state of Coating in SHM-cz and connected with this, is a study of coating used by the firm. On the basis of this analysis and information obtained a method of evaluation is proposed for attesting the quality of the coating for experimental tests. The final parts deals wit the how the tests were carried out and processing of the experimental test results for quality of the PVD coating, illustrated with tables and diagrams. In the conclusion there is an evaluation of all the experimental tests and the results obtained from them.

### **Key Words:**

- PVD coat, coating tools, classification coating tools, surface editing

## **Poděkování**

Je nutno uvést a poděkovat těm, bez kterých by se bakalářská práce pravděpodobně neuskutečnila. Poděkování vedoucí práce paní doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc. za umožnění vypracovat bakalářskou práci pod jejím vedením a katedrou, za kvalitní vedení a spoustu konstruktivních připomínek při vytváření práce. Největší poděkování patří firmě SHM-cz se sídlem v Šumperku na adrese Průmyslová 3 za možnost vypracovat bakalářskou práci na téma PVD povlaky. Hlavně panu RNDr. Michalovi Šímovi za konzultace, vysvětlení, vstřícnost, uskutečnění měření a celkovou odbornou radu při práci na bakalářské práci, který je jeden z nejlepších vývojových pracovníků ve firmě. Děkuji slečně Ing. Lence Dobrovodské z katedry mechanické technologie za pomoc při měření v prostorách laboratoře na VŠB-TU Ostrava.

## Obsah

Seznam použitého značení .....	3
<b>Úvod .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Povlakované slinuté karbidy (SK) .....</b>	<b>5</b>
1.1 Metoda PVD .....	7
1.1.1 Metoda Napařování .....	7
1.1.2 Metoda Naprašování .....	7
1.1.3 Metoda Plátování .....	7
1.2 Metoda CVD .....	8
1.3 Vlastnosti SK .....	9
<b>2 Rozbor současného stavu povlakování nástrojů PVD technologiemi ....</b>	<b>11</b>
2.1. Požadavky na řezné nástroje před aplikaci povlaku .....	14
2.1.1. Kvalita povrchu řezného nástroje .....	14
2.1.2. Materiálové vlastnosti řezného nástroje .....	16
2.1.3. Úprava povrchu řezného nástroje před aplikací povlaku .....	17
2.1.3.1 Mechanické úpravy povrchu řezného nástroje .....	17
2.1.3.2 Chemické úpravy povrchu .....	19
2.1.3.3 Nakládání do speciálních držáků před vlastním umytím v myčce .....	21
<b>3 Úprava povrchu povlakovaných nástrojů .....</b>	<b>22</b>
3.1 Leštění v ruce po aplikaci povlaku .....	23
3.2 Leštění v granulátech s brusnou pastou po aplikaci povlaku .....	23
<b>4 Povlakování nástrojů .....</b>	<b>25</b>
4.1. Odpařování pomocí nízkonapětového oblouku .....	25
<b>5 Metodika experimentálních prací .....</b>	<b>28</b>
5.1 Měření drsnosti před a po aplikaci povlaku .....	28
5.2 Leštění povrchu povlaku .....	28
5.3 Měření drsnosti po leštění .....	28
5.4 Měření tloušťky povlaků - kalotester .....	29
5.5 Měření adheze povlaků – Rockwellovým vtiskem na Scratch – tester .....	29
5.6 Měření mikrotvrdosti povlaků .....	30

<b>6 Výsledky experimentálních prací .....</b>	<b>31</b>
6.1 Nástroje pro hodnocení kvality PVD povlaku.....	31
6.2 Hodnocení drsnosti .....	32
6.2.1 Měření drsnosti před aplikací povlaku .....	33
6.2.2 Měření drsnosti po aplikaci PVD povlaku nástrojů a před leštěním.....	36
6.3 Leštění nástrojů po aplikaci povlaku .....	38
6.3.1 Leštění v ruce.....	38
6.3.2 Leštění mikropískováním .....	41
6.3.3 Leštění v granulátech s brusnou pastou.....	44
6.4 Měření drsnosti po leštění .....	46
6.5 Hodnocení tloušťky povlaků po leštění .....	48
6.5.1 Hodnocení tloušťky frézy .....	49
6.5.2 Hodnocení tloušťky vrtáku .....	49
6.5.3 Hodnocení tloušťky VBD.....	50
6.6 Hodnocení adheze povlaku .....	50
6.6.1 Hodnocení adheze povlaku frézy.....	52
6.6.2 Hodnocení adheze povlaku vrtáku .....	53
6.6.3 Hodnocení adheze povlaku VBD.....	53
6.7 Měření mikrotvrdosti povlaku .....	54
6.7.1 Měření mikrotvrdosti povlaku s označení MARWIN SI .....	55
6.7.2 Měření mikrotvrdosti povlaku s označení MARWIN G .....	55
<b>Závěr .....</b>	<b>56</b>
<b>Seznam použitých pramenů.....</b>	<b>58</b>
Seznam použitých tabulek .....	58
Seznam použitých obrázků .....	58
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>60</b>

## Seznam použitého značení

<b>CVD</b>		Chemical Vapour Deposition = chemické vakuové napařování
<b>HB</b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	Tvrdost dle Brinella
<b>HRC</b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	Tvrdost dle Rockwella
<b>HSS</b>		Rychlořezná ocel
<b>HV</b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	Tvrdost dle Vickers
<b>PVD</b>		Physical Vapour Deposition = fyzikální vakuové napařování
<b>Ra</b>	[μm]	Aritmetická střední drsnost
<b>Rq</b>	[μm]	Průměrná kvadratická úchylka
<b>Ry</b>	[μm]	Celková výška profilu
<b>Rz</b>	[μm]	Maximální výška profilu
<b>SEM</b>		Skenování elektronovým mikroskopem
<b>SK</b>		Slinutý karbid
<b>Tpop</b>	[°C]	Popouštěcí teplota
<b>VBD</b>		Vyměnitelná břitová destička
<b>λ<sub>c</sub></b>	[μm]	Měřená délka posuvu na nástroji



## Úvod

V dnešní době jsou řezným materiálem pro obrábění kovových, nekovových i kompozitních materiálu povlakované nástroje ze slinutého karbidu (dále jen SK) ale i z rychlořezné oceli (dále jen HSS). Jsou tedy nepostradatelnou součástí obrábění a také prostředkem, jak dosáhnout lepší kvality řezného nástroje (např. rovnoměrnější chod nástroje, zlepšení záběru nástroje, snížení teploty v místě bříty), jak snížit cenu a zároveň zvýšit celkovou životnost nástroje. Neustálý tlak konkurence nutí jednotlivé firmy ke zlepšování kvality svých produktů. Pro zjištění optimálních vlastností tenkých vrstev je tedy třeba v procesu výroby realizovat řadu experimentálních zkoušek. Předmětem bakalářské práce je hodnocení kvality PVD povlaku firmy SHM-cz na reálných nástrojích pomocí experimentálních zkoušek pro hodnocení drsnosti, adheze, tloušťky a mikrotvrdosti povlaku. Jednotlivé zkoušky budou zpracovány a na závěr vyhodnoceny.

## 1 Povlakované slinuté karbidy (SK)

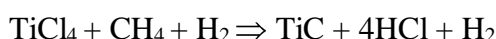
Nejdůležitějším vývojem v oblasti slinutých karbidů byly 60. léta. Během 60. let se zavedla výroba vyměnitelných břitových destiček s prvními povrchovými vrstvami TiC (1969). Výzkum byl v oblasti povlakování ve dvacátých a třicátých letech našeho století velmi intenzivní, nepodařilo se připravit povlaky s tak technickou využitelností. V roce 1950 použil západoněmecký podnik Metallgesellschaft AG znovu metodu pro vytvoření otěruvzdorných povlaků na oceli. Výzkum byl úspěšný a již rok 1952 vedl k první sérii patentovaných aplikací v oblasti povlakovaných SK. Patent povlakování slinutých karbidů vrstvou TiC byl jmenovanou firmou přihlášen v roce 1959. Povlakování se tak stává velmi významnou metodou zlepšení vlastností zejména u vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje. [2]

Poprvé se na trhu objevily povlakované břitové destičky pro obrábění objevily koncem 60. let (povlak TiC, tloušťka vrstvy  $4 \div 5\mu\text{m}$ ). Brzy byly vyvinuty další povlaky typu TiN a TiCN. Povlaky  $\text{Al}_2\text{O}_3$  přišly na trh až v polovině 70. let. Povlaky byly vytvářeny metodou CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické vakuové napařování) jako jedno i vícevrstvé, povlak  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vyžadoval vytvoření mezivrstev (např. TiC), aby byla zlepšena adhezni pevnost mezi povlakem a podkladem. Povlaky PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální vakuové napařování) se začaly objevovat na začátku 80. let. Nejvíce užívaným povlakem PVD byl jednovrstvý TiN, získaný metodou reakčního iontového plátování. Jednotlivé materiály se navzájem liší druhem povlaku, kombinací vrstev, tloušťkou povlaku, metodou povlakování, substrátem, atd. Pro konkrétní aplikaci řezného nástroje s povlakovanou břitovou destičkou je velmi důležitá správná kombinace všech uvedených faktorů, protože zejména na této skutečnosti závisí efektivnost jeho užití. [2]

## Rozlišení vývojových stupňů povlakovaných SK [2]

### 1. generace:

Jednovrstvý povlak (TiC) s tloušťkou 7 μm a špatnou soudržností podkladu a povlaku. Bylo to způsobeno nedokonalou technologií výroby, kdy mezi podkladem a povlakem docházelo k tvorbě křehkého eta-karbidu. Chemická reakce, při které se usazuje karbid titanu na povrchu nástrojů, lze popsat:



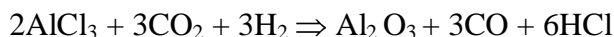
### 2. generace:

Jednovrstvý povlak (TiC, TiN, Ti (C, N)), bez eta-karbidu na přechodu podklad-povlak. Zdokonalení technologie výroby umožnilo vytvořit vrstvy povlaku o větší tloušťce až 13 μm bez nebezpečí jejich odlupování při funkci nástroje. Rovnice:



### 3. generace:

Vícevrstvý povlak - 2 až 3 vrstvy s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Řazení vrstev odpovídá jejich vlastnostem tak, že jako první jsou na podklad obvykle nanášeny vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu, které mají relativně nižší odolnost proti opotřebení, a jako poslední jsou nanášeny vrstvy, které nemusí mít dobrou přilnavost k podkladu. Dobrá přilnavost k předchozí vrstvě vyplývá z procesu výroby, ale požaduje se od nich zejména vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení. Příkladem je vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vzniká chemickou reakcí:



### 4. generace:

Speciální vícevrstvý povlak - velmi často více než 10 vrstev i mezivrstev s méně či více výraznými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Výhoda takového povlaku je umožněna cíleným řízením atmosféry v povlakovacím zařízení podle potřeby technologického postupu povlakování. Nejnovější povlaky této generace mají mezi podkladem a vlastním povlakem vrstvu speciálního materiálu typu WC-Co o tloušťce asi 30 μm.

## 1.1 Metoda PVD

(Physical Vapour Deposition = fyzikální vakuové napařování)

- energie: plazma, bias,
- teplota:  $250 \div 600^{\circ}\text{C}$ ,
- pnutí: kompresivní  $0 \div 8 \text{ GPa}$ ,
- magnetron, oblouk, napařování,
- TiN, TiAlN + Me, TiCN, CrN, AlCrN + Me, C:H,
- frézování, přerušované řezy.

### 1.1.1 Metoda Napařování

Fyzikální proces povlakování, který probíhá v případě firmy SHM-cz ve středním až vysokém vakuu, tj. při průměrném tlaku  $1 \div 5 \text{ Pa}$ , protože při menším tlaku by nehořel plyn. Při napařování je čistý kov obvykle odpařován pomocí elektrického oblouku, svazkem elektronů, nebo klasickým odporovým ohřevem. Emitované atomární částice reagují s atmosférou komory, kterou tvoří inertní a reaktivní plyn (např. Ar a  $\text{N}_2$ ) a s tepelnou energií  $0,1 \div 0,5 \text{ eV}$  dopadají na povrch substrátu, kde se usazují ve formě tenké vrstvy homogenního povlaku (kolem  $5 \mu\text{m}$ , v daném případě TiN), pevně adhezně spojené s podkladem. [2]

### 1.1.2 Metoda Naprašování

Naprašování využívá elektrického výboje v plynné atmosféře komory za tlaku pod  $1 \text{ Pa}$ , při kterém vznikají kationty - kladné ionty, které jsou naprášeny na katodu z čistého kovu, na níž je připojen záporný pól elektrického napětí  $0,5 \div 5 \text{ kV}$ . Vysoká kinetická energie iontů uvolní z terče čistého kovu částice potřebného chemického složení, které se následně usazují na povrchu substrátu a vytvářejí tak požadovaný povlak. [2]

### 1.1.3 Metoda Plátování

Iontové plátování je kombinací napařování a naprašování. Protože je mezi substrátem (katoda, záporný potenciál  $50 \div 1000 \text{ V}$ ) a odpařovačem vytvořeno silné elektrické pole,

dochází k elektrickému výboji v plynné atmosféře, který ionizuje částice plynu i odpařené částice čistého kovu. Reakcí iontů vzniká povlak, který se usazuje na povrchu předmětů vsázky. Pro danou metodu (v menší míře i pro naprašování) je v důsledku plazmaticky aktivovaného procesu charakteristicky zvýšený podíl iontů v toku materiálu a s ním spojená vyšší energie částic, což přináší zejména tyto výhody:

- odstranění kontaminované vrstvy na povrchu substrátu naprašováním částic s vysokou energií,
- přesně definované chemické složení povlaku,
- rovnoměrný průběh procesu a s ním spojený dokonalý růst vrstvy povlaku,
- vynikající adheze povlaku k podkladu,
- vysoká hustota povlaku,
- možnost snížení teploty substrátu pod 160°C,
- široký rozsah podkladových i povlakových materiálů.

K nevýhodám všech výše uvedených metod PVD patří například relativně složitý vakuový systém a požadavek pohybovat povlakovanými předměty, aby bylo zaručeno rovnoměrné ukládání povlaku po celém jejich povrchu (tento požadavek souvisí s tzv. stínovým efektem, který u dané metody způsobuje, že na plochách, které neleží ve směru pohybu odpařovaných částic, se vytváří nedokonalá vrstva povlaku, případně se povlak vůbec netvoří). Mezi výhody můžeme zařadit možnost povlakování ostrých hran (tedy i tzv. ostře provedeného ostří nástroje, s poloměrem zaoblení pod 20  $\mu\text{m}$ ). [2]

## 1.2 Metoda CVD

(Chemical Vapour Deposition = chemické vakuované napařování), která probíhá za vysokých teplot: 700 ÷ 1500°C. Je to hlavní metoda povlakování SK a může být realizována třemi způsoby:

1. tepelně indukovaná,
2. plazmaticky aktivována,
3. fotonově indukovaná – laserem.

Metoda CVD je založena na reakci plynných chemických sloučenin v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktů reakce na tomto povrchu. Důležitým požadavkem přitom je, aby výchozí plyny obsahovaly stabilní ale přitom prchavou sloučeninu, která se v důsledku přivedení energie (ohřevem, plazmovým obloukem, laserem) chemicky rozkládá (např. kovový halogenid). Aby proběhla požadovaná reakce (vytvoření vrstvy povlaku), musí být v plynech obsažen i nekovový reaktivní plyn (např.  $N_2$ ,  $NH_4$ ,  $CH_4$ ) a někdy i nosný plyn (např. Ar,  $H_2$ ), který dopravuje danou směs plynů k povlakovanému předmětu, umožňuje řízení celého procesu a výrazně ovlivňuje rychlost růstu vrstvy povlaku (hraje též důležitou roli při redukci oxidů na povrchu substrátu a tím umožňuje vznik povlaku s dobrou adhezí k podkladu). Cíleným obsahem plynné směsi (druh a množství jednotlivých složek) v čase lze dosáhnout plynulé změny ve složení povlakové vrstvy a vytvářet tak multivrstvé povlaky. Mezi výhody patří vysoká hustota povlaku. [2]

## 1.3 Vlastnosti SK

K důležitým faktorům, které ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti a tím i řezný výkon povlakovaných SK patří druh povlaku a jeho tloušťka, metoda povlakování a substrát. Odolnost povlaku proti opotřebení závisí na typu povlaku (abrazní opotřebení je ovlivňováno tvrdostí, tepelné opotřebení termochemickou stabilitou, reprezentovanou volnou energií tvorby). Povlak  $Al_2O_3$  s vynikající termochemickou stabilitou vykazuje vyšší trvanlivost než TiC při vysokých řezných rychlostech, kde převládá tepelné opotřebení. Obecně lze povlaky podle odolnosti proti tepelnému opotřebení seřadit následovně  $Al_2O_3 > TiN > TiCN > TiC$ . Pořadí podle odolnosti proti abrazivnímu opotřebení je opačné. Proto jsou povlaky  $Al_2O_3$  používány pro vysoké řezné rychlosti, zatímco TiC je vhodný pro nízkou řeznou rychlost. Pro praktické užití je tloušťka povlaku regulována v rozsahu  $5 \div 10 \mu m$  (při příliš velké tloušťce povlaku dochází snadněji k jeho odlupování). Při frézování, kde je břit nástroje vystaven rázům, se u širších povlaků vyskytuje mikrovýdrolování a proto jsou pro tento účel vhodnější tenčí povlaky. [2]

Ohybová pevnost SK povlakovaných metodou CVD s rostoucí tloušťkou vrstvy klesá, kdežto u SK povlakovaných metodou PVD se nemění. Povlakování metodou CVD se odehrává za teplot kolem  $1000^\circ C$  a na povrchu substrátu se může snadno vytvářet

oduhličená eta-fáze. Navíc se vytvářejí trhliny. Povlaky PVD tyto defekty nemají, protože jsou vytvářeny za nižších teplot, kolem  $500 \div 600^{\circ}\text{C}$ . **Navíc zbytková pnutí v povlaku CVD jsou tahová, kdežto v povlaku PVD jsou tlaková. Proto mají SK povlakované metodou PVD vyšší pevnost v ohybu a tedy i vyšší odolnost proti vydrolování, než SK povlakované metodou CVD.** Povlaky CVD mají ale vynikající adhezní pevnost a odolnost proti opotřebení. V důsledku uvedených rozdílů ve vlastnostech jsou povlaky CVD obvykle užívány pro soustružení a frézování, zatímco povlaky PVD jsou užívány tam, kde by trvanlivost povlaků CVD v důsledku vydrolování a vysokých řezných sil byla nízká, jak je tomu např. při obrábění nerezavějících ocelí. Povlaky PVD jsou též užívány u nástrojů, které mají ostří (bez zaoblení), jako jsou např. celokarbidové vrtáky a stopkové frézy. [2]

Pokud je vrstva povlaku příliš tenká, je řezný výkon povlakovaných SK silně ovlivněn vlastností podkladu. Opotřebení nástroje na hřbetě je urychlováno plastickou deformací břitu, proto i u tenkých povlaků hřbetní opotřebení klesá s rostoucí tvrdostí podkladu. [2]

Povlaky na SK pro obrábění mají vyšší tvrdost, než běžné SK, snižují řezné síly, teploty a koeficient tření a brání difuznímu mechanismu opotřebení. I když dojde k porušení vrstvy povlaku a odkrytí podkladového SK, udrží si povlakované břitové destičky obvykle ještě po určitou dobu svoji vyšší odolnost proti opotřebení. U hřbetu je tato skutečnost vysvětlována např. tím, že podklad má dobrou odolnost proti adheznímu opotřebení, které zde převládá, nebo tím, že hřbet je i nadále chráněn vrstvou povlaku, která se zachovala na čele a vytváří jakýsi ochranný štít podél celé části zabírajícího ostří. Štít, podobně jako odolný nárůstek, chrání hřbet břitu a snižuje intenzitu jeho opotřebení, protože má vyšší odolnost proti opotřebení než podkladový SK. Na dolním okraji opotřeбенé plošky hřbetu vytvoří vrstva povlaku úzký ochranný „práh“, který rovněž vstupuje nad rovinu opotřebení. V důsledku adheze jsou s částicemi obráběného materiálu odnášena i jednotlivá zrna, případně shluky zrn podkladu a proto se před prahem začíná podél hranice plošky opotřebení vytvářet rýha. Rýha podemílá povlak, což vede k vydrolování jeho částic podél uvedené hranice a zvětšování opotřeбенé plošky. [2]

## 2 Rozbor současného stavu povlakování nástrojů PVD technologiemi

Firma SHM-cz nabízí novou kolekci PVD povlaku na nástroje z ocelí a tvrdokovu. Osvědčená řada nanokompozitních povlaků  $\text{nc}-(\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x)\text{N}/\text{a-Si}_3\text{N}_4$  s obchodním označením MARWIN SI a řada gradientních nanostrukturovaných povlaků AlTiN s obchodním označením MARWIN G jsou doplněny zcela novými povlaky s označením ALWIN a LUBRIK. Vedle těchto unikátních a progresivních povlaků je v nabídce standardní povlak TiN. Nabízené povlaky představují světovou špičku jak z hlediska uplatnění nových poznatků výzkumu a vývoje, tak i z hlediska uplatnění praktických zkušeností s jejich přípravou a aplikacemi v průmyslovém měřítku. Garantem kvality služeb SHM-cz je mnoholetá výrobní zkušenost a moderní výrobní zázemí. Garantem trvalého pokroku ve vývoji je výzkumný tým, který prošel několika národními a mezinárodními projekty s velkou mezinárodní prestiží, který udržuje trvalé vazby na české i zahraniční výzkumné instituty a vysoké školy.

### Výhody použití PVD povlaku firmy SHM-cz: [3]

- zvýšení životnosti nástrojů,
- zlepšení kvality obráběného povrchu,
- zvýšení produktivity obrábění – zvýšení řezných rychlostí a posuvů,
- možnost snížení nebo vylučování chlazení,
- snížení řezných odporů,
- zklidnění chodu stroje,
- snížení frekvence přestřování nástrojů.

### Nabídka PVD povlaků firmy SHM-cz:

Název povlaku	Charakteristika	Použití
MARWIN SI	Nanokompozitní povlak tvořený TiAlSiN	univerzální povlak pro frézování, vrtání, lisování, stříhání
MARWIN G	Povlak tvořený gradientní vrstvou TiAlN	frézování, vrtání - litiny, ocelolitiny univerzální vrstva pro obrábění
MARWIN TiN	TiN	odvalovací frézy,



# Bakalářská práce

		méně náročné aplikace
<b>MARWIN TiCN</b>	Vícevrstvý systém tvořený povlaky TiCN a TiC	povlak vhodný pro stříhání, tváření, lisování, závitování
<b>LUBRIK SI</b>	Nanokompozitní povlak tvořený TiAlSiN a zakončený kluznou vrstvou s obsahem oxidů a uhlíku	obrábění barevných kovů, závitování, lisování, stříhání, tváření
<b>LUBRIK G</b>	Povlak tvořený gradientní vrstvou TiAlN a zakončený kluznou vrstvou s obsahem oxidů a uhlíku	obrábění barevných kovů, závitování, lisování, stříhání, tváření
<b>ALWIN</b>	Povlak na bázi chromu CrAlSiN	aplikace náročné na oxidační odolnost, odvalovací frézy, tváření, stříhání

Tab. 1 Nabídka PVD povlaků firmy SHM [4]

## Vlastnosti PVD povlaků firmy SHM-cz:

Vrstva (označení)	Mikrotvrdost [GPa]	Tepelná stabilita [°C]	Koef. frikce* (informativně)
<b>MARWIN SI</b>	43	1000	0,7 ÷ 0,85
<b>MARWIN G</b>	33	900	0,6 ÷ 0,8
<b>MARWIN TiN</b>	25	550	0,4 ÷ 0,6
<b>MARWIN TiCN</b>	33	400	0,4 ÷ 0,6
<b>LUBRIK SI</b>	43 + 15	1000 + 600	0,1 ÷ 0,3
<b>LUBRIK G</b>	33 + 15	900 + 600	0,1 ÷ 0,3
<b>ALWIN</b>	32	1000	0,4 ÷ 0,6

Tab. 2 Vlastnosti PVD povlaků [3]

## Typické PVD vrstvy:

Typ vrstvy	Barva	Mikrotvrdost [GPa]	Tepelná stabilita [°C]	Koef. frikce* (informativně)
<b>TiN</b>	Zlatá	20 ÷ 25	550	0,4 ÷ 0,5
<b>TiCN</b>	Měděná	30 ÷ 37	400	0,2 ÷ 0,4
<b>CrN</b>	Stříbrná	18	700	0,3 ÷ 0,5
<b>TiAlCN</b>	Tmavofialová	28	500	0,25
<b>AlCrN</b>	Šedostříbrná	Nové		
<b>TiAlN (standart)</b>	Černofialová	30 ÷ 35	800	0,4 ÷ 0,5
<b>TiAlN (multi)</b>	Černofialová	28 ÷ 33	750	0,4 ÷ 0,6
<b>TiAlN (nano)</b>	Černofialová	33 ÷ 35	850	0,25 ÷ 0,4
<b>AlTiN(Al&gt;Ti)</b>	Černá	35 ÷ 38	800	0,7
<b>AlTiSiN(nc)</b>	Černá	38 ÷ 45	1100	0,45
<b>TiAlSiN(nc)</b>	Černofialová	> 45	1100	0,5 ÷ 0,7
<b>CrAlSiN</b>	Stříbrná	nové		
<b>DLC</b>	Šedá-černá	20 ÷ 25	400	0,1 ÷ 0,2
<b>LUBRIC*</b>	Černá-lesklá	nové		
<b>MoS<sub>2</sub>*</b>	Šedá	-	400	0,15
<b>WC/C*</b>	Šedá	≤ 10	800	0,15 ÷ 0,2

Tab. 3 Typické PVD vrstvy [3]

\*Koef. frikce - afinita povlaku k obrobku

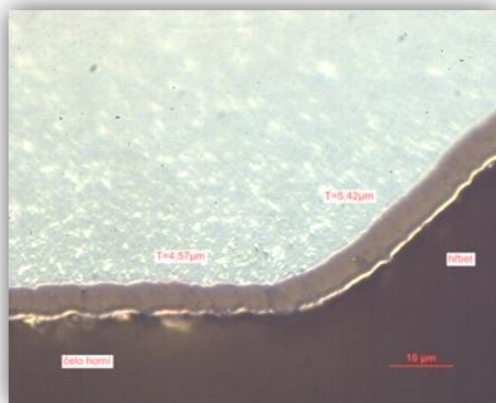
## 2.1. Požadavky na řezné nástroje před aplikací povlaku

Před vlastním povlakováním je nutné kontrolovat vzhled a ostatní vlastnosti nástrojů. Je dobré dodat nástroje pro povlakování, které budou splňovat několik základních kritérií. U takových nástrojů je možné zabezpečit kvalitní nanesení vrstvy a tím i požadovanou kvalitu povlaku. K tomu aby nástroje byly plně funkční, je třeba se zaměřit na následující charakteristiky nástrojů: [3]

- kvalita povrchu,
- materiálové vlastnosti.

### 2.1.1. Kvalita povrchu řezného nástroje

PVD povlak „okopíruje“ každou nerovnost viz *obr. 1*. Čím je povrch kvalitněji připraven, tím je i výsledný povrch hladší. Kvalita nástrojů může ovlivnit vlastnosti vrstvy. Z tohoto hlediska můžeme rozdělit výskyt povrchového znečištění na dvě části. [3]



*Obr. 1 PVD povlak na nástroji [3]*

### **Znečištění odstranitelné: [1]**

- jedná se o výskyt takových látek na povrchu, které lze dodatečnými technologickými úpravami čištění odstranit. Mezi odstranitelné znečištění je možné zařadit např.:
  - černění,

- označování povrchu nástroje barvami.

## **Znečištění neodstranitelné: [1]**

- v tomto případě se jedná o použití takových látek na povrchu nástroje nebo stav nástrojů, který neumožňuje úspěšné nanesení otěruvzdorného povlaku. Mezi neodstranitelné znečištění patří:

- hloubková koroze,
- konzervování či mazání nástrojů silikonovými přípravky.

## 2.1.2. Materiálové vlastnosti řezného nástroje

Z hlediska povlakování se jedná o vlastnosti, které nejsou bezprostředně spojené s kvalitou povrchu, ale jsou spojeny materiálovým složením či tvarem nástroje. Některé materiálové vlastnosti vylučují použití PVD technologie, někdy může dojít k omezení použití nástrojů. [3]

- SK – neexistují žádná omezení, co se týká složení,
- oceli – omezení vzhledem k popouštěcí teplotě,  $T_{pop} > 400\text{ °C}$ .

**Pro plnou spokojenost je dobré zkontrolovat nástroj podle následujících kritérií.**

## **Popouštěcí teplota: [3]**

- nástroje musí být vyrobeny z materiálů, které nezmění svoji tvrdost při teplotách cca 400°C. Obecně se dá říci, že je možné aplikovat povlak na jakékoliv nástroje ze slinutého karbidu a z HSS.

## **Pájené nástroje: [3]**

- je možné aplikovat povlak na pájené nástroje, ve kterých je použita pájka na bázi Cu a Ag. V nástrojích pájených běžnými pájkami (obsahujícími Cd a Zn) dochází k odprašování těchto materiálů po povlakovací komoře, což má za následek snížení mezního vakua pod přípustnou hodnotu pro zahájení procesu. Z tohoto důvodu není možné aplikovat povlak na nástroje pájené běžnými pájkami.

## **Velikost nástrojů:**

- je možné aplikovat povlak na nástroje v různých povlakovacích zařízeních, které se liší velikostí povlakovací komory. V největším zařízení jsme schopni aplikovat povlak na nástroj o maximálním průměru 340mm a výšce 380mm.

## **Otvory: [3]**

- mezi základní omezení dané vlastní metodou PVD je nemožnost dobrého nanesení povlaků do otvorů. Obecně platí, že čím je otvor menší a hlubší, tím je vrstva na stěnách tohoto otvoru tenčí. Zahloubení a mírné povrchové prohloubeniny je možné povlakovat bez omezení.

### 2.1.3. Úprava povrchu řezného nástroje před aplikací povlaku

Posoudí se jaká technologie úprav před povlakováním je vhodná a ta se aplikuje. Mohou nabídnout a kombinovat úpravy mikropískováním, omíláním ve speciálním médiu pokud to nástroj vyžaduje (**v případě bakalářské práce tyto zkoušky budeme provádět až po aplikaci povlaku**), mikroúpravou břitů, čištění otvorů pomocí stlačené páry, mokré mytí v ultrazvuku i tlakovým oplachem a různé způsoby iontového čištění v počáteční fázi povlakovacího procesu. [3]

#### 2.1.3.1 Mechanické úpravy povrchu řezného nástroje

- k čištění povrchu materiálu - odstranění okují,
- vytvoření podmínek pro zakotvení povlaku,
- zlepšení mechanických vlastností - zvýšení meze pevnosti, meze únavy,
- vzhledové požadavky.

## **Otryskávání: [1]**

- je způsob mechanické úpravy kovového povrchu, při kterém se tryskáci materiál vrhá velkou rychlostí proti povrchu součástí. Je to způsob mechanického opracování povrchu substrátu, u kterého tryskáci prostředek jako nástroj vyvolává při dopadu v povrchových vrstvách kvalitativní přeměny, přičemž vzniká charakteristická

morfologie povrchu. Z hlediska uspořádání nerovností patří otryskaný povrch do skupiny neorientovaných-izotropních povrchů, jejichž charakter je dán zejména tvarem použitého zrna tryskacího prostředku. Na charakter mikrogeometrie vedle tvaru zrna má také vliv jejich tvrdost, zrnitost, druh materiálu a hmotnost zrna.

**Kvantitativní účinek tryskání je dán jeho režimem, především rychlostí letu zrna, úhlem dopadu, jakostí substrátu a hlavně jeho tvrdostí. Působení částic na povrch je zpravidla doprovázeno plastickou deformací substrátu,**

- **intenzita čištění povrchu při otryskávání je závislá na tvaru zrn, druhu materiálu, kinetické energii, úhlu dopadu a vzdálenosti tryskače od předmětu.**

Tvrdá ostrá zrna způsobují čištění povrchu a odstraňují z něj i částice kovu tím, že se do povrchu zasekávají. Velikost zrn cca 40 $\mu$ m. Tlak dle potřeby 2 ÷ 5 atm.

## **Některé otryskávací materiály:**

- korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),
- křemičitý písek tříděný,
- litinová drť,
- brusiva - karbid křemíku, korund,
- balotina (skleněné kuličky vyráběné granulací skla),
- speciální materiály – např. drť z pecek.

## **Injektorový tryskač:**

- je tvořen tryskací pistolí, která se skládá z tělesa, pracovní a vzduchové trysky. Vzduchová tryska je připojena na tlakový vzduch. Vzduch vyvolá v tělese pistole podtlak, kterým se nasává tryskací prostředek. Směs vzduchu a tryskacího prostředku proudí pracovní tryskou k otryskávanému předmětu.

## 2.1.3.2 Chemické úpravy povrchu

- zahrnují způsoby úpravy, při kterých reagují chemická činidla s nečistotami na povrchu materiálu,
- **Odmašťování** - příprava povrchu pro různé povlaky, požadovaná čistota povrchu je závislá na druhu povlaku,
- **Koroze** - lze pozorovat jak na HSS, tak i na SK, způsobeno delším kontaktem povrchu nástrojů s alkáliemi či kyselinami v extrémním případě (v případě SK) vede k vytvoření koroze a následně prohloubenin jako „pomerančová kůra“.

### Odmašťování v alkalických roztocích: [1]

- je proces poměrně složitý. Mastné kyseliny se neutralizují a přejdou do roztoku jako rozpustná mýdla. Povrchově aktivní mýdla snižují povrchové napětí mezi roztokem a mastnotou, příznivě působí na průběh odmašťování,
- alkalické odmašťovací prostředky obsahují louh nebo sodu, fosforečnany, uhličitany,
- roztok musí mít dostatečnou alkalitu, aby nedošlo k hydróze mýdla,
- teplota roztoku při ponorném odmašťování ocele je větší než 80°C, při postřiku alespoň 60°C,
- při ponoru je doba ponoření 5 - 10min podle znečištění,
- po odmaštění se musí odstranit z povrchu zbytky alkálií - oplachem horkou vodou.

### Úprava korozního prostředí pomocí inhibitory koroze: [1]

- Inhibitory jsou látky, které chrání povrch kovu v daném agresivním prostředí před korozí tím způsobem, že změni vlastnosti fázového rozhraní kov-prostředí. Zpomalují inhibitory kinetiku některé z dílčích reakcí tak, aby byl zpomalen celkový průběh korozního procesu. Rychlost korozního procesu se snižuje následkem toho, že reakcí kovu a inhibitoru při spolupůsobení korozního prostředí vznikají v zóně rozhraní fázi kov-prostředí filmy nebo tenké vrstvy prvků nebo sloučenin. Tyto zplodiny mají vliv na rychlost koroze.



## **Rozdělení inhibitory koroze: [1]**

### 1. Fyzikální inhibitory

- působí fyzikální absorpci, kdy částice inhibitoru jsou přidržované na povrchu silami analogickými. Tyto vazby jsou poměrně slabé, což má za následek:
  - menší rychlost anodického rozpuštění kovu,
  - omezení činnosti depolarizátorů,
  - snížení rychlosti pronikání složek korozního prostředí k povrchu kovu,
  - změnu vlastnosti elektrické dvojvrstvy,
- k absorpčním inhibitorům patří některé organické látky, které jsou molekulárně nebo iontově rozpustné v korozním prostředí,
- často se používají také lyofilní koloidy, jako jsou želatina, líh, kazein.

### 2. Chemické inhibitory

- vytvářejí ochrannou vrstvu na povrchu kovu,
- oxidací kovu, vznikem primárních zplodin koroze,
- reakcí inhibitoru s kovem, nebo s jeho zplodinami koroze,
- zvýšením alkality prostředí na fázovém rozhraní kov-prostředí,
- chemisorbční - tvoří přechodný typ, kdy jejich vazba nemá s kovem jen povahu reverzibilní absorpce, je pevnější,
- pasivační - mají široký pasivní význam a patří sem sloučeniny s oxidačními vlastnostmi.

## 2.1.3.3 Nakládání do speciálních držáků před vlastním umytím v myčce

- zabezpečení záměny různých nástrojů označenými košíky,
- zabránění možnosti vzájemného oštípání nástrojů.

### **Čištění v průmyslové myčce MIELE: [3]**

- slouží k odstranění zbytků nečistot a korundu z povrchu nástrojů,
- automatická průmyslová myčka s automatickým dávkováním mycích látek,
- jedná se o mytí proudem vody umocněné chemikáliemi,
- oplachování je prováděno v demineralizované vodě s přídavkem pasivátoru zabraňující vzniku koroze na povrchu nástrojů.



*Obr. 2 Myčka Miele [3]*

## 3 Úprava povrchu povlakovaných nástrojů

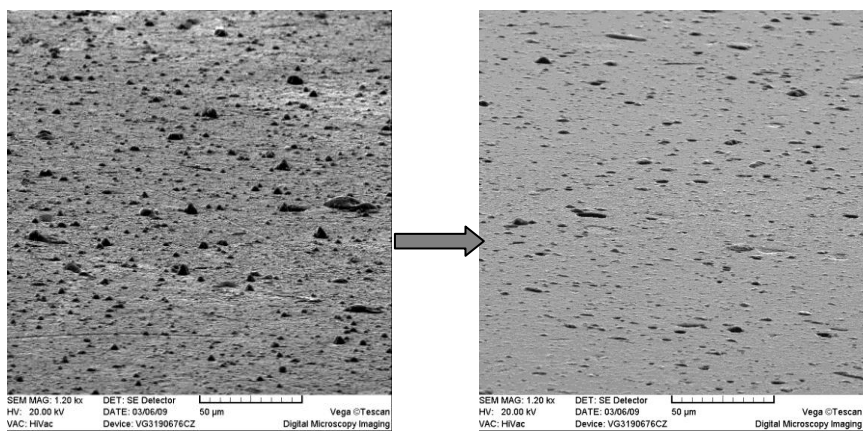
- v některých případech se vyžaduje úprava povrchu nástroje ještě před vlastní aplikací povlaku, z důvodu úpravy břitu nástroje, zaoblení hran...,
- **nástroje pro experimentální zkoušky nevyžadují mechanickou úpravu před povlakováním**, jelikož jsou úpravy provedeny výrobcem, proto budou experimentální zkoušky provedeny až po aplikaci povlaku, z důvodu zlepšení povlaku nástroje a eliminace makročástic, zlepšení záběru nástroje..., před povlakováním se provede jen chemická úprava z důvodu očištění nástroje,
- existuje celá řada metod úpravy břitů nástrojů. Např.:

	<b>Leštění v ruce</b>	<b>Leštění v granulátech s brusnou pastou</b>
<b>Kvalita</b>	Nejlepší	Dobrá
<b>Reprodukovatelnost</b>	Závisí na konkrétním pracovníkovi	Dobrá
<b>Flexibilita</b>	Velmi vysoká	Dobrá
<b>Produktivita</b>	Nízká	Střední
<b>Cena</b>	Pouze plat pracovníků	Střední, standardní stroje jsou nabízeny
<b>Jiné vlastnosti</b>	Běžné pro malé firmy	Použitelné také pro leštění šroubovic, odstraňování makročástic

*Tab. 4 Příklady úpravy a jejich vlastnosti [3]*

## 3.1 Leštění v ruce po aplikaci povlaku

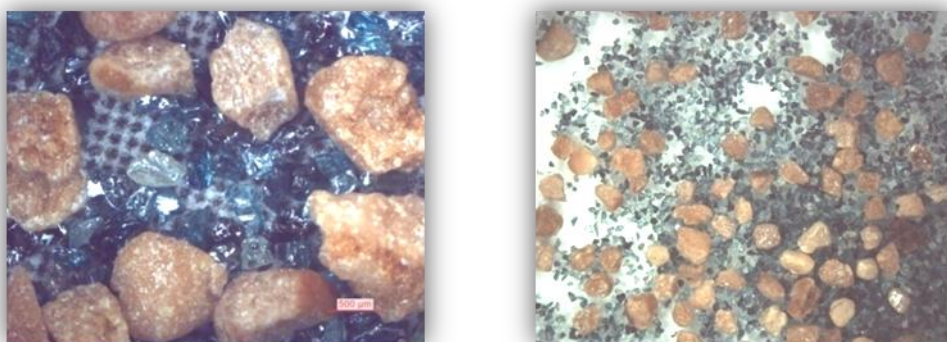
- používají se většinou umělá vlákna, ve kterých jsou zabudovány abrazivní částice - SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> apod.



*Obr. 3 Vzhled povrchu povlaku po úpravě leštěním v ruce [3]*

## 3.2 Leštění v granulátech s brusnou pastou po aplikaci povlaku

- je možné provádět před nebo i po aplikaci PVD povlaku,
- pro experimentální zkoušky této práci se leštění provádí až po aplikaci povlaku.



*Obr. 4 Brusná pasta pod mikroskopem [3]*

### **Výsledné leštění se ovlivní: [3]**

- vhodnou volbou granulátu a brusné pasty, rychlostí otáčení nástrojů v granulátech, směrem otáčení a časem.

## **Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění v granulátech s brusnou pastou: [3]**

- leštění v granulátech s brusnou pastou je vhodnou technikou úpravy břitů nástrojů,
- dojde ke zlepšení adheze povlaku na břitech nástrojů,
- pro testované materiály došlo ke snížení řezných sil,
- úpravou hran a vhodnou volbou povlaku došlo ke zvýšení životnosti nástrojů.

## **Omílání: [1]**

- je vhodné především pro menší předměty oblých tvarů do váhy asi 1kg,
- spočívá ve vzájemném odírání předmětu, omílajících těles, brusiva a kapaliny v otáčejícím se bubnu nebo zvonu,
- větší předměty je možné omílat, ale je nutné je upevnit do přípravku v omílacím zařízení.

## **Výhody:**

- snižují se výrobní náklady, provoz je levný,
- zvyšuje se výrobnost,
- snižuje se zmetkovost,
- zlepšuje se povrch a korozní odolnost.

## **Omílání ovlivňují tyto činitele:**

- doba omílání,
- průměr bubnu a jeho otáčky,
- tvar a velikost součástí,
- plnění bubnu,
- poměr množství součástí a omílacích těles.

## **Omílací tělesa:**

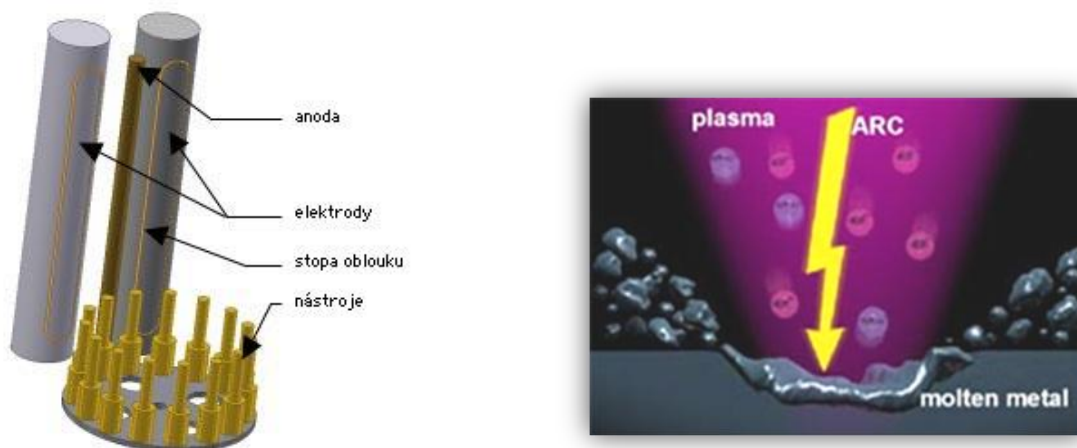
- přírodní nebo umělé kameny, jako je křemen, žula, čedič, vápenec, **umělý korund**, ale mohou se použít i organické hmoty, kožené odpady...,
- poměr počtu součástí a omílacích těles se volí obvykle 1:3, u těžšího předmětu 1:10 až 1:30.

## 4 Povlakování nástrojů

- technologie SHM je založena na odpařování nízkonapětovým obloukem.

### 4.1. Odpařování pomocí nízkonapětového oblouku

Nízkonapětový oblouk je výhodný pro svoji vysokou rychlost odpařování a vysokou ionizaci plazmatu. Velmi zajímavé jsou jeho parametry. Hoří v místě katodové skvrny o průměru řádově  $10\ \mu\text{m}$ , kde dosahuje teploty až  $15\ 000^\circ\text{C}$ . Za těchto podmínek lze odpařit prakticky každý elektricky vodivý materiál. Princip povlakování lze velmi dobře přiblížit ze schématu PVD zařízení. **Materiál je odpařován a zároveň ionizován obloukem z elektrod.** Ionizovaný materiál (např.  $\text{Ti}^+$ ,  $\text{Ti}^{2+}$ , atd.) je urychlován směrem k nástrojům záporným předpětím, které je na ně přiloženo. Cestou ionizuje ještě atomy plynné atmosféry (např.  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ ). Ionizované atomy po dosažení povrchu nástrojů vytváří povrchovými reakcemi vlastní deponovanou vrstvu. [3]



Obr. 5 Princip odpařování pomocí nízkonapětového oblouku [3]

#### Princip metody – parametry katodové skvrny

- typická velikost -  $1 \div 10\ \mu\text{m}$ ,
- proudová hustota -  $10^6 \div 10^7\ \text{A}/\text{cm}^2$ ,
- hustota energie -  $10^7\ \text{W}/\text{cm}^2$ ,
- teplota -  $15\ 000^\circ\text{C}$ ,
- proud je tvořen 90% elektronů, 10% iontů.

## **Produkty odpařování:**

- ionty,
- neutrály,
- makroskopické částice - kapky, úlomky.

## **Parametry procesu**

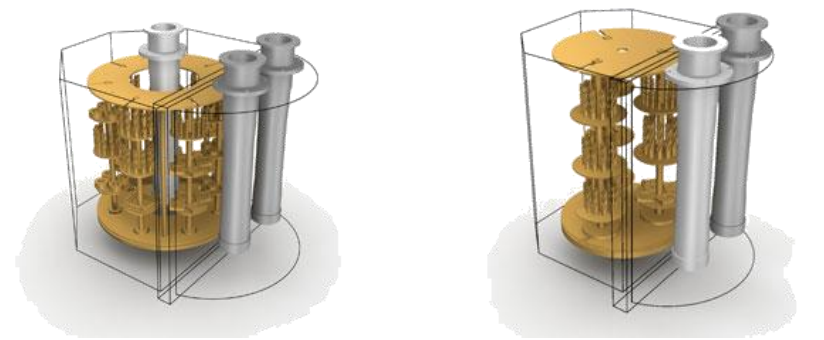
- tlak  $N_2 = 0,5 \div 5 \text{ Pa}$ ,
- teploty =  $450 \div 750^\circ\text{C}$ ,
- proudy katod =  $30 \div 400 \text{ A}$ ,
- napětí oblouků =  $25 \div 40 \text{ V}$ ,
- bias =  $-50 \div -1200 \text{ V}$ ,
- proud vzorků =  $3 \div 5 \text{ A}$ ,  $20 \div 50 \text{ A}$ ,
- depoziční čas =  $60 \div 240 \text{ min}$ ,
- depoziční rychlost =  $1 \div 3 \mu\text{m} / \text{hod}$ .

## **Tvar katod**

- plochý (flat),
- válcový.

## **Umístění katod**

- centrální,
- z obvodu,
- kombinace.



Obr. 6 Umístění katod [3]

## **PVD povlak – co se můžeme ovlivnit?**

- výběr povlaku,
- tloušťku ( $0,6 \div 8 \mu\text{m}$ , funkční plochy),
- složení = tvrdost, houževnatost, afinitu (TiN až AlN),
- drsnost.

## **Jak povlak funguje?**

- **Tvrdost** - otěruvzdornost, abrazivní opotřebení -  $H_{\text{upl}} = 15 \div 45 \text{ GPa}$ ,
- **Tepelná stabilita** - např. závislost tvrdosti na teplotě -  $T = 150 \div 1100^\circ\text{C}$ ,
- **Afinita povlaku k obrobku** - frikční koeficient -  $f = 0,1 \div 0,8$ ,
- **Tloušťka povlaku** – soustružení,  $\text{VBD} = 4 \div 10 \mu\text{m}$ , frézování  $\text{ON} = 2 \div 3 \mu\text{m}$ .



## 5 Metodika experimentálních prací

### 5.1 Měření drsnosti před a po aplikaci povlaku

**Je souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě nebo jejím vlivem.** V případě nanášení PVD vrstev je drsnost způsobená jak vlastním opracováním nástroje, tak i odprašovaným materiálem, který je deponován na nástroj. **Při měření drsnosti před a po aplikaci povlaku počítáme s vadami povrchu,** tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rysky, trhlinky, důlky apod.) a které vznikají vadami materiálu, poškozením. Drsnost bude vyhodnocena dle požadavků a zkušeností firmy SHM-cz.

### 5.2 Leštění povrchu povlaku

Pro experimentální zkoušky je letění úprava povrchu povlaku z důvodu zlepšení povlaku nástroje a eliminace makročástic. Byly použity tři metody leštění a to leštění v ruce, mikropískováním a leštění v omílacím zařízení. Každá metoda se nějak liší, a proto po provedení leštění jsou nástroje v závěrečné kontrole porovnány v zařízení **SEM - skenování elektronovým mikroskopem.**

### 5.3 Měření drsnosti po leštění

**Při měření drsnosti po leštění povlaku nepočítáme s vadami povrchu,** tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rysky, trhlinky, důlky apod.) a které vznikají vadami materiálu, poškozením. **Z důvodu eliminace vlivu předchozího opracování nástroje se provádí měření drsnosti na speciálně leštěných etalonech, jejichž výchozí drsnost  $R_a$  je  $0,01 \div 0,02 \mu\text{m}$ .** Měřená výsledná drsnost není pak ovlivněna opracováním původního nástroje, ale jen vznikající vrstvou. Drsnost bude vyhodnocena dle požadavků a zkušeností firmy SHM-cz. [3]

## 5.4 Měření tloušťky povlaků - kalotester

**Pro měření tloušťky vrstvy se využívá zařízení kalotester.** Princip měření je následující: Pomocí otáčející se leštěné kuličky, na kterou se nanáší diamantová pasta, dochází k vyleštění jak nanesené vrstvy, tak i tenké podpovrchové vrstvy. **Ze znalosti průměru kuličky a mikroskopem změřených průměrů kulových vrchlíků je možné jednoduchým výpočtem stanovit tloušťku nanesené vrstvy.** Toto měření je z důvodů vyšší přesnosti vhodné provádět na vyleštěných etalonech. Obvyklá tloušťka vrstvy dle požadavků a zkušeností firmy SHM-cz bývá pro soustružení, VBD =  $4 \div 10\mu\text{m}$ , frézování =  $1 \div 3\mu\text{m}$ . [3]

### Výhody:

- snadný způsob měření,
- levné vybavení,
- přesnost (na  $0,1\mu\text{m}$ ),
- odhalí i strukturu povlaku.

### Nevýhody:

- destruktivní metoda,
- nelze použít na měření tloušťky na břitech,
- lze měřit jen na plochých vzorcích.

## 5.5 Měření adheze povlaků – Rockwellovým vtiskem na Scratch – tester

Jedná se vyhodnocování přilnavosti vrstvy k povlakovanému nástroji. **Při vyhodnocování se využívá principu postupně se zvyšující zátěžné síly na diamantový Rockwellův hrot při současném posouvání špičky hrotu po měřené vrstvě. S ohledem na běžné velikosti přilnavosti se prakticky používá zátěžná síla v rozsahu 20 - 100N.** Při měření vrstvy je detekována akustická emise, která se mění při odtržení vrstvy, což koresponduje s určitou hodnotou v Newtonech. Tato kritická hodnota, při které dochází k odtržení vrstvy, se označuje jako adheze vrstvy. Navíc je možné provést závěrečnou kontrolu pomocí optického mikroskopu. Pomocí mikroskopu se určí na vzniklé dráze místo, kde došlo k odtržení vrstvy a je odečtena přesná hodnota kritické zátěže. [3]

## 5.6 Měření mikrotvrdosti povlaků

Pro účely vývoje nikoliv výroby. **Tvrdost** je definována jako odpor materiálu proti pronikání cizího tělesa. Klasická tvrdost materiálu je měřena různými tvary vnikajících tělísek - pak je označována tvrdost HB, HRC, **HV** apod. Měření probíhá tak, že se po určité době zvyšuje zátěž až do maximální hodnoty, pak následuje odtížení a odečet hodnoty, která koresponduje s hloubkou respektive s velikostí stopy. Z těchto údajů se zjišťuje výsledná tvrdost. **Mikrotvrdost** je určována zejména pro tenké vrstvy, ale hlavní rozdíl spočívá ve volbě velikosti maximální zátěže. V tomto případě je maximální zátěž v řádu desítek mN (milinewton což odpovídá gramům). Důvod použití tak nízkých zátěžných sil spočívá v nutnosti měření tvrdosti samotné vrstvy bez vlivu materiálu, na kterém je vrstva nanášena. Výsledkem měření je pak nejen výsledné číslo odpovídající tvrdosti materiálu, ale i tvar zatěžovací a odtěžovací křivky.

### Parametry přístroje: [3]

- Zátěžná síla  $0,4 \div 1000$  mN ( 0,04g – 100g),
- Přesnost měření polohy špičky hrotu - 2 nm,
- Vyhodnocování tvrdosti - plastické tvrdosti, Youngova modulu, elasticity,
- Citlivé na vibrace, elektromagnetické pole.

## 6 Výsledky experimentálních prací

### 6.1 Nástroje pro hodnocení kvality PVD povlaku

- nástroje pro hodnocení kvality PVD povlaku jsou z firmy SHM.cz, které byly zapůjčeny pro účel vypracování Bakalářská práce a jsou k dispozici v příloze,
- byly zvoleny 3 typy nástrojů (fréza, vrták a břitová destička) viz obr. 7, 8, 9.

#### **Představení jednotlivých nástrojů:**

##### 1. FRÉZA

- stopková dvoubřitá fréza s válcovou stopkou od firmy ANAJ z SK o  $\varnothing d=10$  mm s označením ANAJ - 046800-RC2AH10000-R0.5-33-29.



Obr. 7 Fréza pro hodnocení PVD vrstvy

##### 2. VRTÁK

- šroubovitý vrták s vrcholovým úhlem  $120^\circ$  z HSS o  $\varnothing d=6$  mm.



Obr. 8 Vrták pro hodnocení PVD vrstvy

##### 3. VBD

- břitová destička firmy Pramet tools z SK s označením RDHX 1003MOT o  $\varnothing d_1=10$ mm.



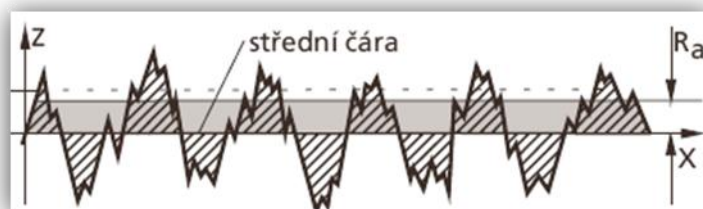
Obr. 9 VBD pro hodnocení PVD vrstvy

## 6.2 Hodnocení drsnosti

- měření se provádělo ve třech etapách procesu s nástroji,
- víme z předchozí podkapitoly 5.1, že drsnost je souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností. Nejen díky tomu se budeme hlavně zabývat parametry  $R_a$ ,  $R_z$  kde:

### **$R_a$ ... Aritmetická střední drsnost**

- je nejstarší parametr drsnosti,
- vztahuje se na celou měřenou délku,
- představuje střední odchylku profilu od střední čáry.

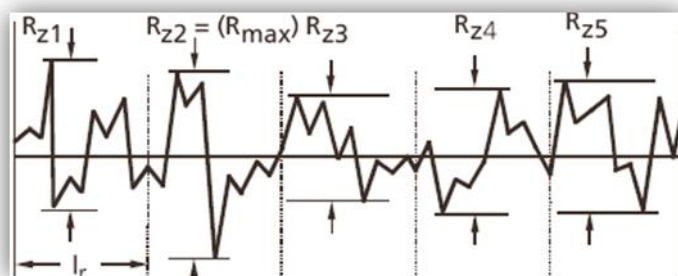


Obr. 10 Parametr  $R_a$  [3]

### **$R_z$ ... Maximální výška profilu**

- pro získání hodnoty je profil rozdělen na  $x$  stejných dílů (v příkladu na 5 dílů),
- v každém dílu je změřena maximální hodnota a aritmetický průměr z těchto hodnot je výsledná hodnota  $R_z$  rovna:

$$R_z = \frac{R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5}}{5}$$



Obr. 11 Parametr  $R_z$  [3]

## 6.2.1 Měření drsnosti před aplikací povlaku

- měření probíhalo v laboratořích VŠB-TU Ostrava,
- použitý měřicí přístroj MITUTOYO Surftest SJ-301 *obr. 12* s vestavěnou tiskárnou a možností předání externímu počítači,
- pro tohle první měření se vybrala možnost výtisku, aby se procvičily obě metody zpracování výsledků - viz *obr. 13, 14, 15* pod tabulkou hodnot + přiložení výtisků v příloze.



*Obr. 12 Přenosný drsnoměr s ovládacím displejem MITUTOYO Surftest SJ-301*

### **Parametry přístroje:**

#### Rozsah měření:

- osa Z 300 mm,
- osa X 12,5 mm.

#### Posuvová jednotka

- rychlost měření: 0,25 ÷ 0,5 mm/s,
- zpětný chod 1mm/s.

#### Zobrazovací jednotka:

- měřicí dráha (L): 0,25 - 0,8-2,5-8 mm i dle zadání,
- délka posuvu:  $\lambda c$ : 0,25 - 0,8 - 2,5 - 8 mm,
- normy drsnosti: DIN, ISO, ANSI, JIS.

## Popis měření:

- k pevně uchycenému nástroji se přiloží drsnoměr tak, aby mohlo být z nástroje při dotyku drsnoměru odečteny hodnoty. Na LCD displeji se odečítají naměřené hodnoty a vypočítané křivky. Musíme avšak dodržet parametry přístroje. Hodnoty Ra, Rz nám přístroj vyhodnotí dle *obr. 13, 14, 15*. Byly provedeny vždy 4 měření na každém nástroji a vypočítán aritmetický průměr,
- při měření **počítáme** s nerovnostmi, které vznikly při výrobě nástroje, tak i vnějšími vlivy, jako jsou třeba otisky prstů, prach a další nečistoty.

## Vysvětlivky:

Ra... Aritmetická střední drsnost

Rz... Maximální výška profilu

Rq... Průměrná kvadratická úchylka

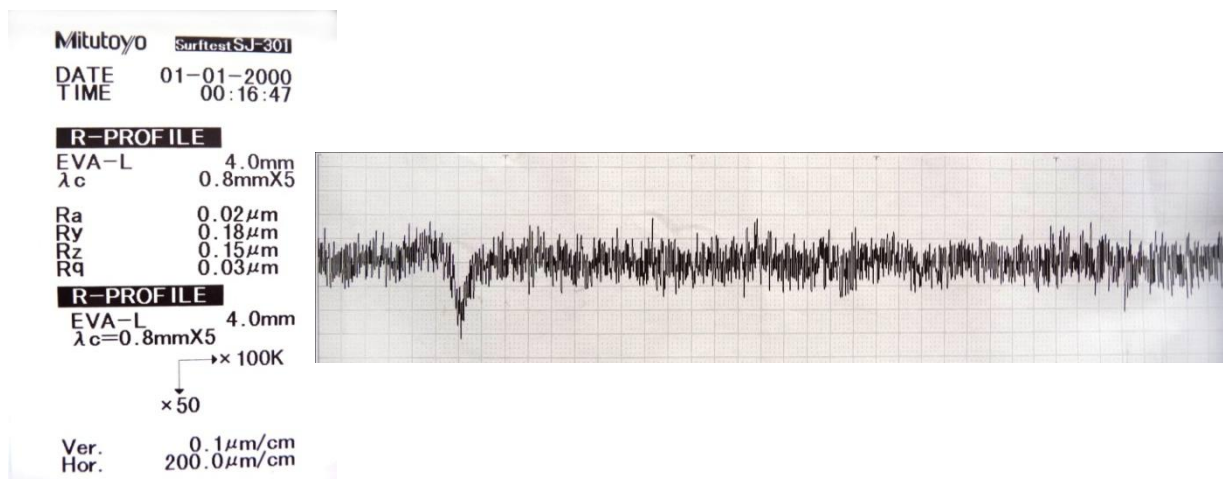
Ry... Celková výška profilu

$\lambda_c$ ... Měřená délka posuvu na nástroji

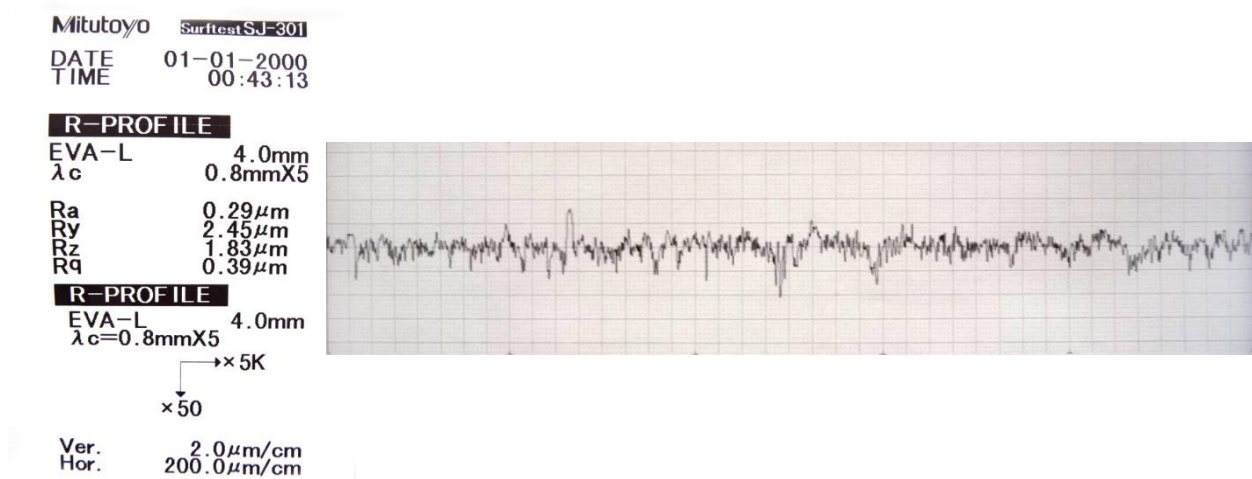
- hodnoty měření č. 4 v tabulce *Tab. 5* znázorněny na *obr. 13, 14, 15* a v příloze.

Nástroj/ drsnost [ $\mu\text{m}$ ]	měření č.	Ra	Ry	Rz	Rq	$\lambda_c$ [mm]
Fréza	1	0.04	0.34	0.24	0.06	0.80
	2	0.02	0.21	0.16	0.03	
	3	0.03	0.22	0.14	0.02	
	<b>4</b>	<b>0.02</b>	0.18	<b>0.15</b>	0.03	
	<b>Průměr</b>	<b>0.03</b>	0.24	<b>0.17</b>	0.04	
Vrták	1	0.27	1.99	1.53	0.34	0.8
	2	0.29	2.38	1.87	0.38	
	3	0.28	1.98	1.61	0.35	
	<b>4</b>	<b>0.29</b>	2.45	<b>1.83</b>	0.39	
	<b>Průměr</b>	<b>0.28</b>	2.20	<b>1.71</b>	0.37	
VBD	1	0.11	0.99	0.68	0.18	0.25
	2	0.13	0.81	0.54	0.15	
	3	0.15	1.12	0.75	0.21	
	<b>4</b>	<b>0.13</b>	1.10	<b>0.67</b>	0.18	
	<b>Průměr</b>	<b>0.13</b>	1.01	<b>0.66</b>	0.18	

*Tab. 5 Drsnost nástrojů před vlastní aplikací PVD povlaku*



Obr. 13 Reliéf povrchu frézy při měření drsnosti před aplikací povlaku



Obr. 14 Reliéf povrchu vrtáku při měření drsnosti před aplikací povlaku





## 6.2.2 Měření drsnosti po aplikaci PVD povlaku nástrojů a před leštěním

- měření probíhalo v laboratořích VŠB-TU Ostrava,
- měřicí přístroj s označením MITUTOYO Surftest SJ-301 viz 6.2.1 obr. 12.

### Popis měření:

- popis měření je stejný jako u první metody,
- při měření **počítáme** s nerovnostmi, které vznikly při povlakování tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rysky, trhlínky, důlky apod.) a které vznikají vadami materiálu, poškozením,
- volíme druhou metodu zpracování, kterou nám drsnoměr umožňuje a to zpracování hodnot v elektronické podobě.

### Vysvětlivky:

Ra... Aritmetická střední drsnost

Rz... Maximální výška profilu

Rq... Průměrná kvadratická úchylka

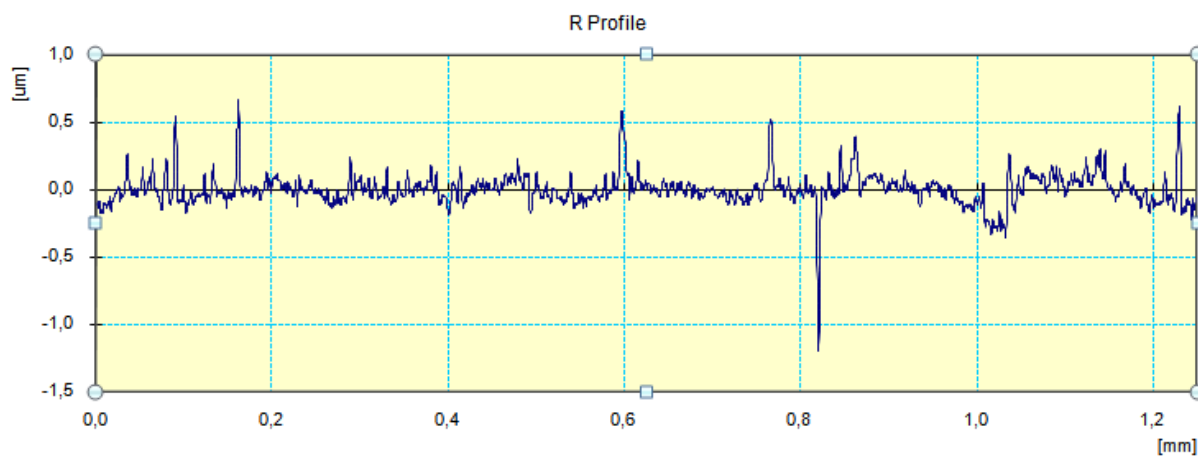
Ry... Celková výška profilu

λc... Měřená délka posuvu na nástroji

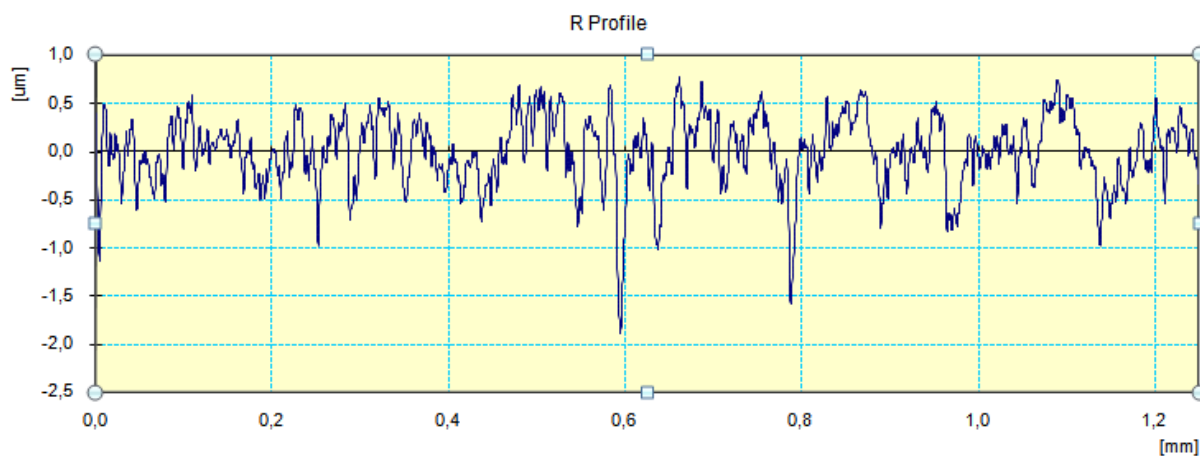
- hodnoty měření č. 3 v tabulce Tab. 6 znázorněny na obr. 16, 17, 18.

Nástroj/ drsnost [mm]	měření č.	Ra	Ry	Rz	Rq	λc [mm]
Fréza	1	0.23	1.10	1.95	0.12	0.25
	2	0.18	0.94	2.21	0.11	
	3	<b>0.08</b>	<b>0.58</b>	<b>0.94</b>	<b>0.13</b>	
	4	0.12	0.85	1.54	0.11	
	<b>Průměr</b>	<b>0.15</b>	<b>0.87</b>	<b>1.66</b>	<b>0.12</b>	
Vrták	1	0.34	1.64	2.08	0.39	0.25
	2	0.33	1.71	2.15	0.31	
	3	<b>0.28</b>	<b>1.28</b>	<b>1.28</b>	<b>0.36</b>	
	4	0.24	1.53	1.99	0.31	
	<b>Průměr</b>	<b>0.30</b>	<b>1.54</b>	<b>1.88</b>	<b>0.34</b>	
VBD	1	0.16	2.25	1.48	0.37	0.25
	2	0.17	2.53	1.67	0.39	
	3	<b>0.31</b>	<b>2.66</b>	<b>1.66</b>	<b>0.44</b>	
	4	0.37	2.95	1.92	0.52	
	<b>Průměr</b>	<b>0.25</b>	<b>2.60</b>	<b>1.68</b>	<b>0.43</b>	

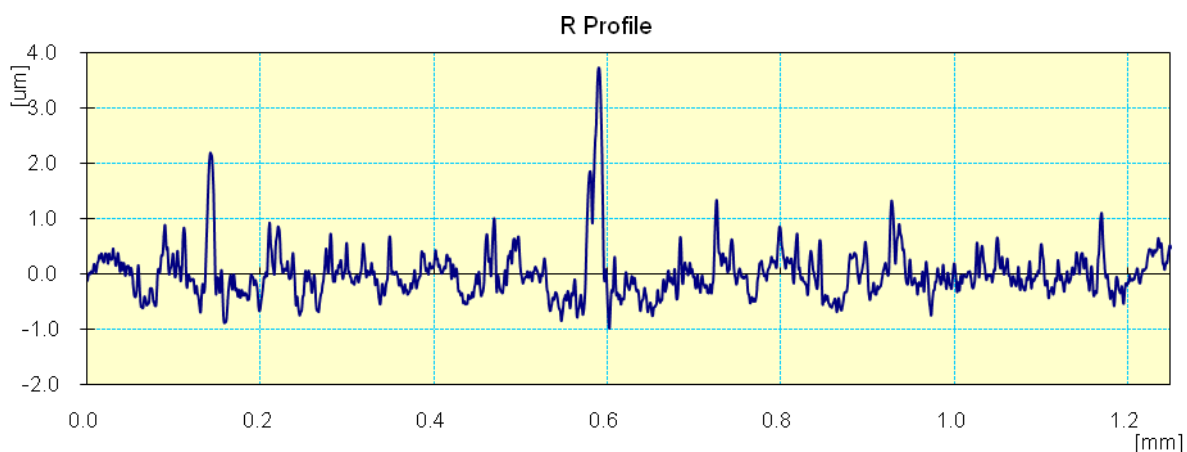
Tab. 6 Drsnost povlaku po aplikaci PVD povlaku na nástroji



Obr. 16 Reliéf povrchu frézy při měření drsnosti po aplikaci povlaku



Obr. 17 Reliéf povrchu vrtáku při měření drsnosti po aplikaci povlaku



Obr. 18 Reliéf povrchu VBD při měření drsnosti po aplikaci povlaku

## 6.3 Leštění nástrojů po aplikaci povlaku

- při nanášení povlaku metodou odpařování nízkonapětového oblouku, kterou využívá firma SHM-cz může dojít k „nalepení“ makročástic na substrát, povlak, a tím i k celkovému zhoršení povrchu povlaku,
- díky leštění dochází ke zlepšení povrchu povlaku, odstranění makročástic, ke zlepšení zaoblení hran nástroje a tím i k lepším vlastnostem nástroje,
- u každé z metod si popíšeme, jaké změny nastaly na povrchu povlaku po leštění a pro upřesnění jsou přiloženy obrázky, které byly vytvořeny pomocí zařízení **SEM - skenování elektronovým mikroskopem** firmy VEGA model 7085 viz *obr 19*,
- **vždy byla provedena metoda SEM u nástrojů před leštěním a po leštění. Z důvodu ruční práce na zařízení nemusí být při porovnání obrázků vždy úplně stejná poloha obrázku,**
- ovládání na zařízení s označením VEGA model 7085 se provádí manuálně, kdy je zařízení napojeno na počítač a veškeré operace se provádí právě pomocí počítače,
- provádíme tři druhy leštění a to vždy na jiný typ nástroje.

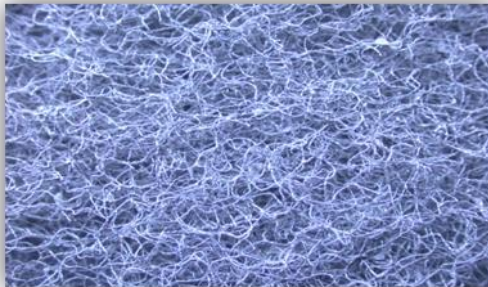


*Obr. 19 Zařízení SEM od firmy VEGA*

### 6.3.1 Leštění v ruce

- nejjednodušší, nejrychlejší způsob leštění, kdy leštění provádí pracovník,
- používají se většinou umělá vlákna *obr. 20*, ve kterých jsou zabudovány abrazivní částice - SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> apod.,
- tato metoda se nejčastěji využívá na vodorovných plochách, kde je efekt leštění nejlepší,

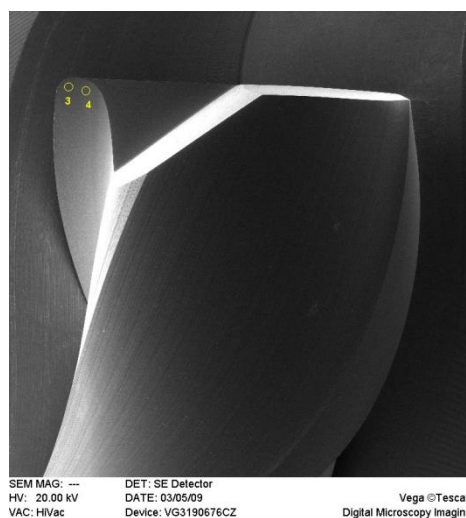
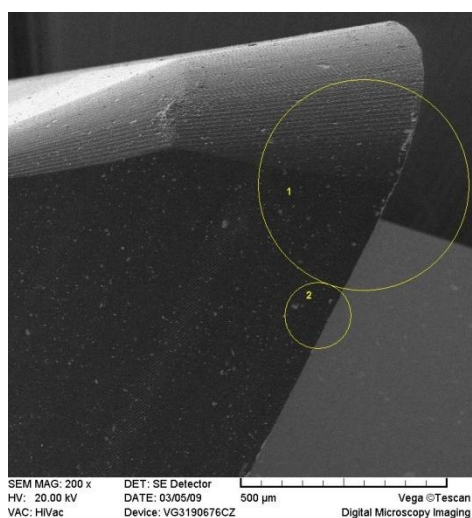
- bakalářská práce využije **metodu na fréze**, kde si ukážeme, že i na břitech nástrojů je možno použít s opatrností tuto metodu.



*Obr. 20 Struktura umělých vláken*

## **Porovnání břitů:**

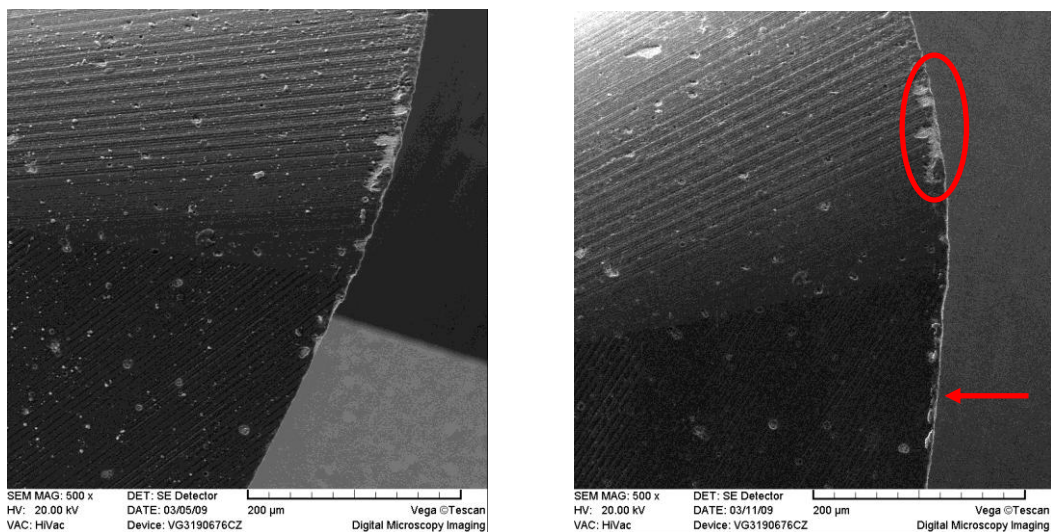
- *obr. 21* znázorňuje, kde všude byla provedena kontrola povlaku na nástrojích.
- pro znázornění porovnání jsou zvoleny 3 úseky, jeden na břitu (úsek 1) a dva na šroubovici (úsek 3,4),



*Obr. 21 Označení míst kontroly frézy metodou SEM*

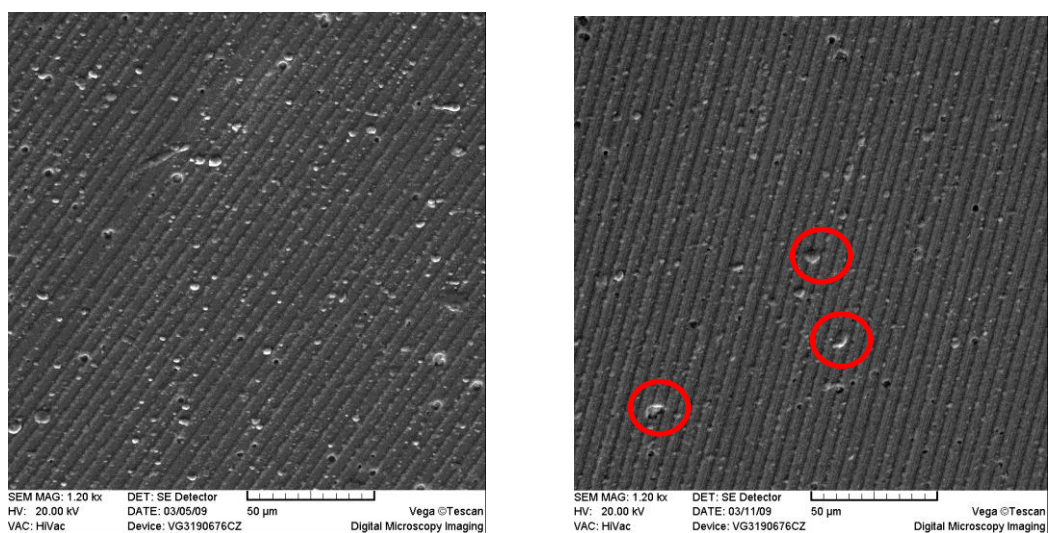
- na *obr. 22* vidíme úsek 1, tedy úsek na hraně břitu,
- můžeme zde zaznamenat zahmlení a úbytek makročástic v oblasti od 60μm od břitu nástroje. V oblasti spodní části došlo k zahmlení makročástic a naopak v horní části spíše k odloupenutí až na podklad,
- v oblasti elipsy byl povlak poškozený hned na začátku. Avšak leštěním, došlo k jejímu zaoblení, tudíž se nám místo částečně zlepšilo,

- v místě šipky došlo k nalepení materiálu na nástroj, tudíž bychom museli znovu část lépe vyleštit,



*Obr. 22 Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění v ruce úseku 1 na fréze*

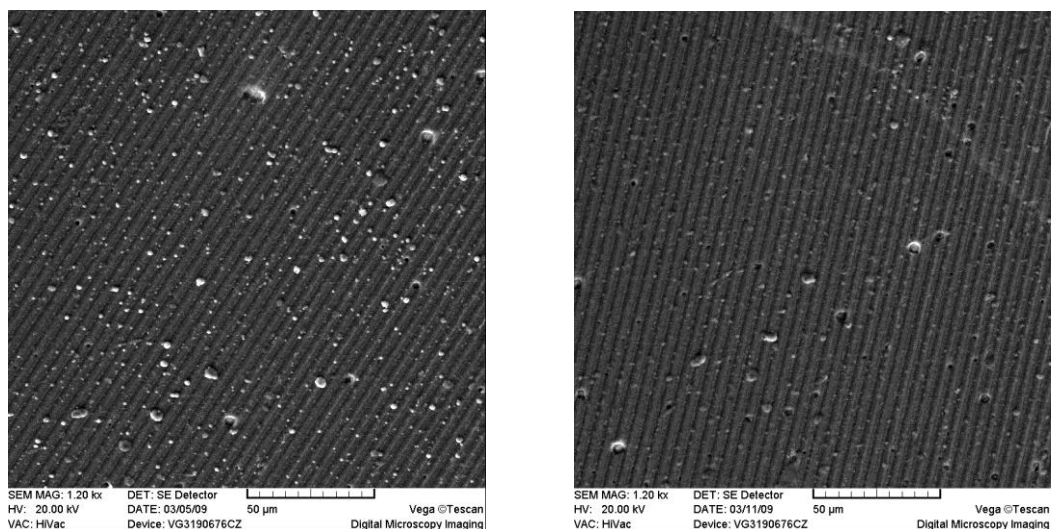
- na obr. 23 vidíme úsek 3, tedy úsek ve šroubovici,
- zde vidíme zahlázení a úbytek makročástic v celém rozsahu, které se neloupají na substrát, tedy úsek je dobře vyleštěný, avšak na vyznačených místech je vidět, že leštění by mohlo být intenzivnější,



*Obr. 23 Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění v ruce úseku 3 na fréze*

- na obr. 24 vidíme úsek 4, tedy druhý úsek ve šroubovici,
- úsek je podobný jako úsek 3,
- úbytek makročástic je zřetelný na celém úseku, tedy je dobře vyleštěný.





Obr. 24 Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění v ruce úseku 4 na fréze

## 6.3.2 Leštění mikropiskováním

- metodu použijeme pro vrták,
- leštění probíhá v zařízení s označením Renfert obr. 25,
- proces je nejefektivnější pro leštění ze všech třech použitých metodách.

### **Popis měření:**

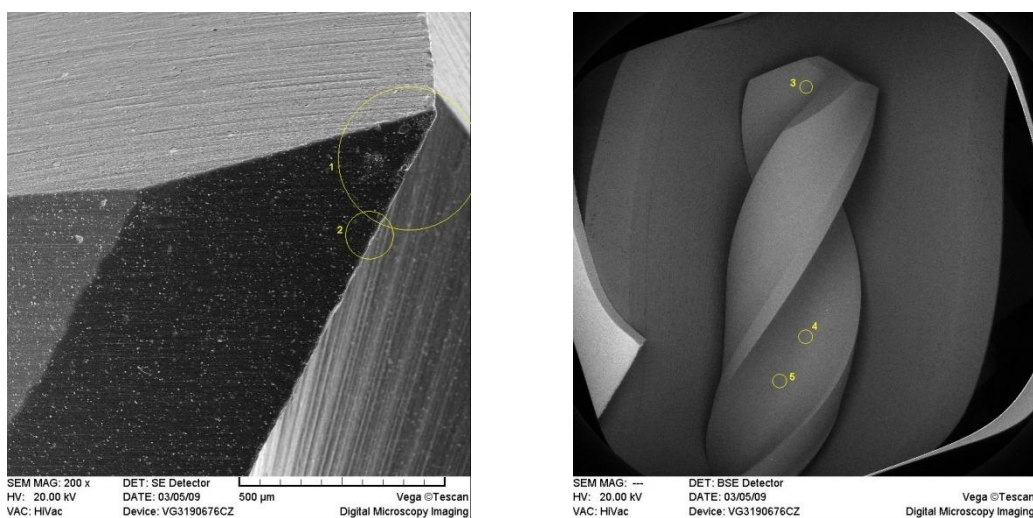
- zařízení pracuje pod tlakem  $2 \div 5 \text{ atm}$ , kdy se v proti směru břitu ve šroubovici opiskávají makročástice z povrchu nástroje. Tryskací médium je korund,
- je to ruční proces, při kterém jsou pracovníkovy ruce a nástroj vloženy do zařízení, aby nedošlo k úrazu pracovníka,
- délka procesu trvá podle rozsahu poškození povrchu nástroje, která byla provedena před samotným mikropiskováním.



Obr. 25 Zařízení Renfert pro leštění mikropiskováním

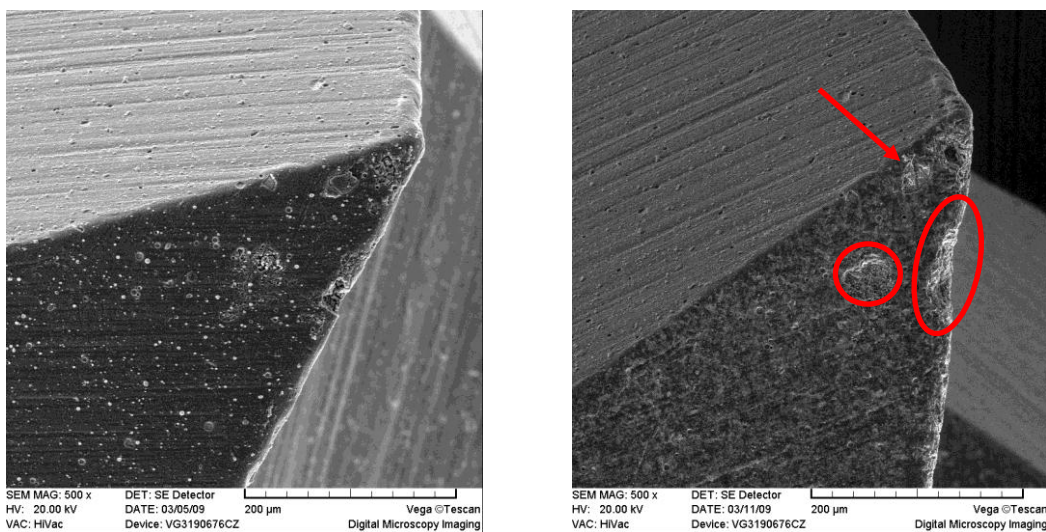
## Porovnání břitů:

- obr. 26 znázorňuje, kde všude byla provedena kontrola povlaku na nástrojích,
- pro znázornění porovnání jsou zvoleny 3 úseky, jeden na břitu (úsek 1) a dva na šroubovici (úsek 3,4),



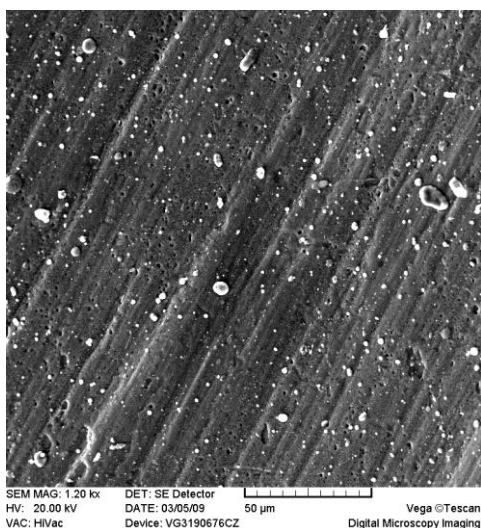
Obr. 26 Označení míst kontroly vrtáku metodou SEM

- na obr. 27 vidíme úsek 1, tedy úsek na břitu nástroje,
- zde můžeme zaznamenat úbytek makročástic,
- v úseku elipsy vidíme, že nástroj byl v tomto místě před aplikací povlaku špatně upraven, ale po následném leštění, se částečně zlepšil,
- šipka ukazuje na místo, kde následkem leštění došlo k ulomení makročástice,
- kolečko ukazuje na místo, kde se následkem leštění došlo ke zvětšení makročástice,



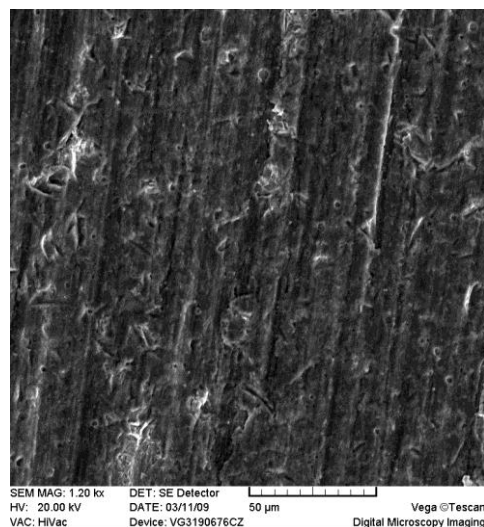
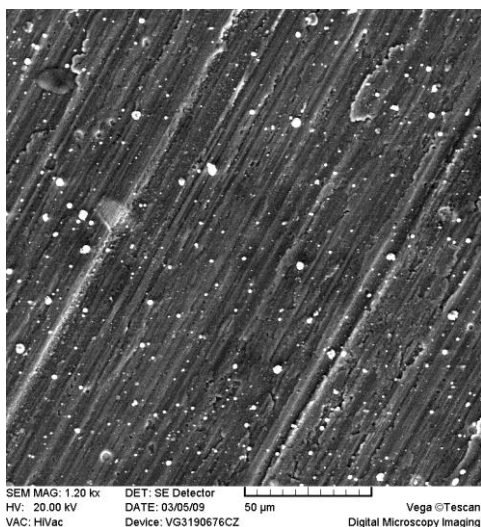
*Obr. 27 Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění mikropiskováním úseku 1 na vrtáku*

- na obr. 28 vidíme úsek 3, tedy úsek na šroubovici nástroje,
- obecně ve šroubovici bývá tenčí povlak, který se díky pískování na některých místech může jemně odstranit,
- z porovnání je vidět, že mikročástice jsou z většiny odstraněny a povrch je vyleštěný, ale jde vidět z kruhu, že jedna makročástice byla odloupnuta až na substrát,



*Obr. 28 Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění mikropiskováním úseku 3 na vrtáku*

- na obr. 29 vidíme úsek 4, tedy úsek na šroubovici nástroje,
- zde můžeme zaznamenat při stejném zvětšení vyhlazený povrch bez vad a makročástic,



*Obr. 29 Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění mikropiskováním úseku 4 na vrtáku*



## 6.3.3 Leštění v granulátech s brusnou pastou

- viz podkapitola 3.2, kde metodu použijeme pro VBD destičky,
- leštění probíhá v zařízení s označením OTEC *obr. 30*,
- jako omílací tělesa jsou použity přírodní ořechové skořápky a umělý korund.

### **Popis leštění:**

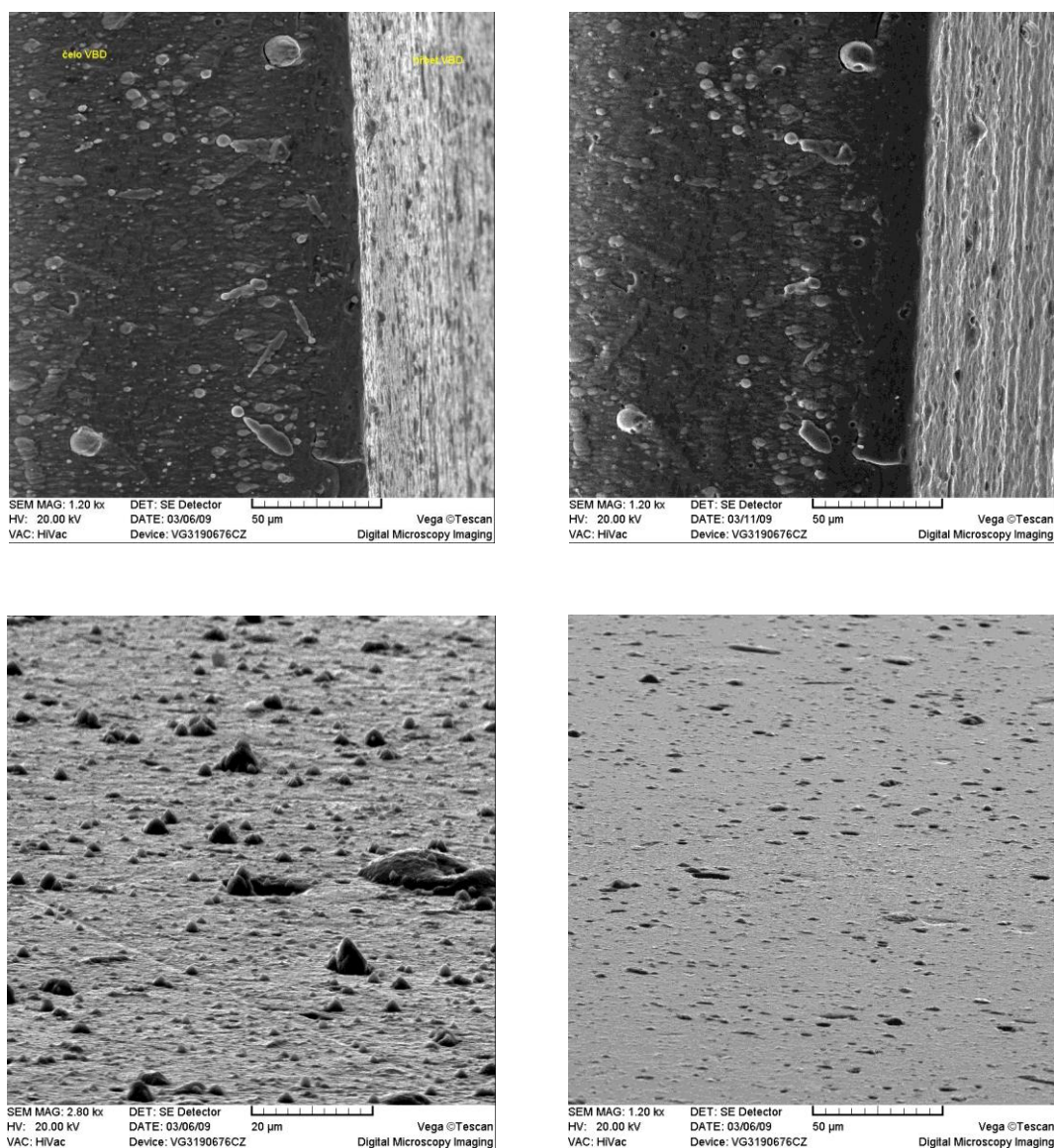
- spočívá ve vzájemném odírání předmětu, omílacích těles, brusiva a kapaliny v otáčejícím se bubnu nebo zvonu,
- nástroje byly upevněny do přípravku a vloženy do bubnů stroje, kde proces probíhal po dobu 30min, a pak musely být po vyjmutí ze zařízení rádně očištěny.



*Obr. 30 Zařízení OTEC pro leštění v granulátech s brusnou pastou*

### **Porovnání břitů:**

- na *obr. 31* je znázorněn pohled na destičku VBD, kde nám žlutý nápis označuje čelo a hřbet nástroje,
- zde vidíme zlepšení řezné hrany, tudíž lepší řezné podmínky, snížení makročástic, které se nám částečně zahladily,
- na spodních obrázcích je boční pohled na povlak, kde vidíme makročástice a následné odstranění.



*Obr. 31 Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění v granulátech*

## 6.4 Měření drsnosti po leštění

- měření probíhalo v laboratořích SHM-cz,
- měřicí přístroj s označením MITUTOYO Surftest SJ-201.

### Popis měření:

- z důvodu eliminace vlivu předchozího opracování nástroje se provádí měření drsnosti na speciálně leštěných **etalonech (neboli normál slouží jako určitý poměr, se kterým se přepočítávají změřené veličiny hodnoty normálu, které jsou zjištěné a ověřené jinou nezávislou metodou)** určuje stejného povlaku, jejichž výchozí drsnost Ra je 0,01 - 0,02  $\mu\text{m}$ ,
- **měřená výsledná drsnost není pak ovlivněná opracováním původního nástroje, ale jen vznikající vrstvou,**
- k pevně uchycenému nástroji se přiloží drsnoměr tak, aby mohly být z nástroje při dotyku drsnoměru odečteny hodnoty. Na LCD displeji s velkorysími rozměry se odečítají naměřené hodnoty a vypočítané křivky. Musíme však dodržet parametry přístroje. Hodnoty Ra, Rz nám přístroj vyhodnotí dle *obr. 10, 11*,
- při měření drsnosti se **nepočítají** vady povrchu, tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rysky, trhlinky, důlky apod.) a které vznikají vadami materiálu, poškozením.

### Vysvětlivky:

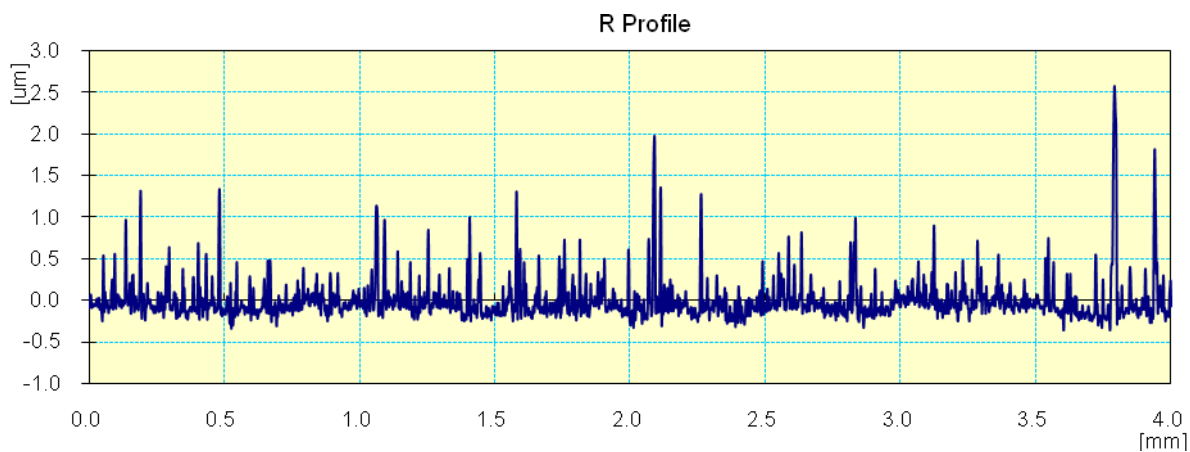
Ra... Aritmetická střední drsnost

Rz... Maximální výška profilu

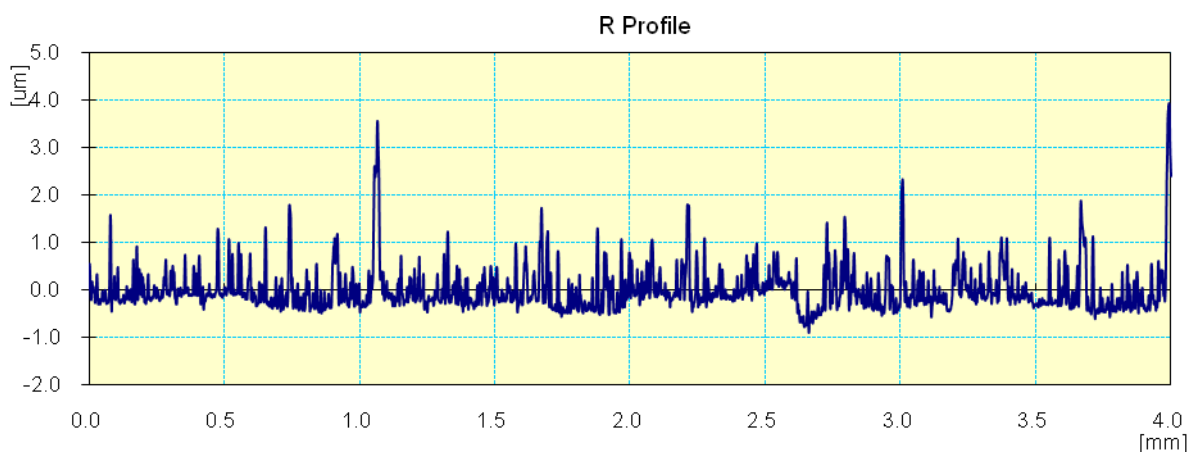
- v tabulce *Tab. 7* jsou už průměrné hodnoty, znázorněny na *obr. 32, 33, 34*.

Nástroj/ drsnost [ $\mu\text{m}$ ]	Ra	Rz
<b>Fréza</b>	0.18	2.01
<b>Vrták</b>	0.32	2.02
<b>VBD</b>	0.11	1.63

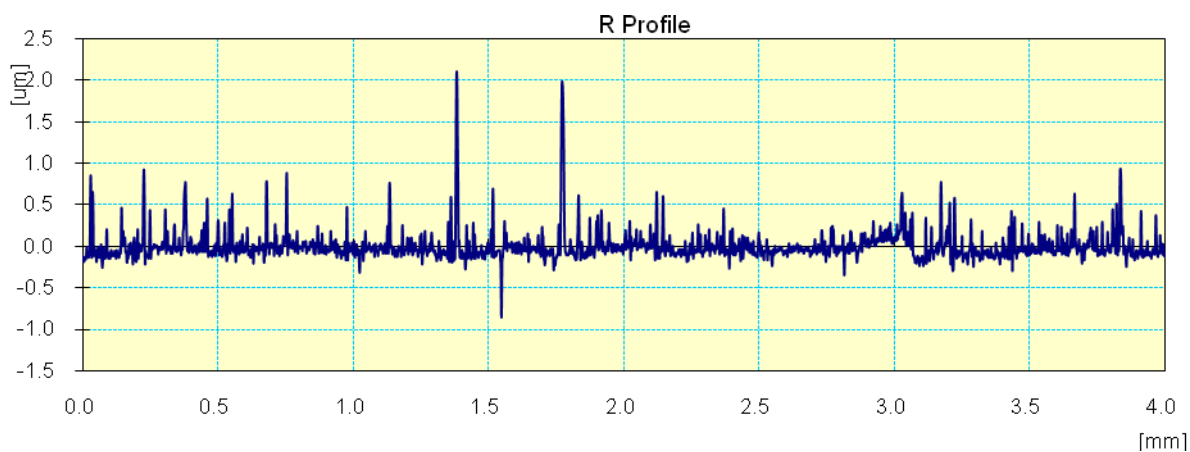
*Tab. 7 Drsnost nástrojů po leštění*



Obr. 32 Reliéf povrchu VBD při měření drsnosti



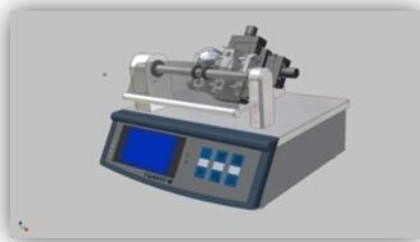
Obr. 33 Reliéf povrchu VBD při měření drsnosti



Obr. 34 Reliéf povrchu VBD při měření drsnosti

## 6.5 Hodnocení tloušťky povlaků po leštění

- jelikož tloušťka na břitech nástrojů se provádí složitěji, my použijeme na měření a hodnocení tloušťky jednodušší zařízení - kaloetester. Toto měření je z důvodů vyšší přesnosti vhodné provádět na vyleštěných etalonech.



Obr. 35 Kaloetester [3]

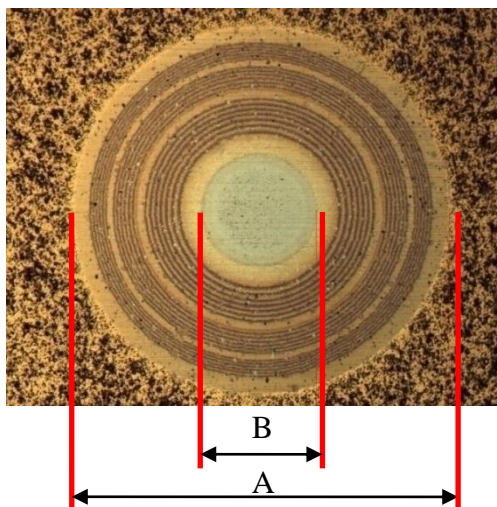
### Popis měření:

- pomocí otáčející se leštěné kuličky, na kterou se nanáší diamantová pasta, dochází k vyleštění jak nanesené vrstvy, tak i tenké podpovrchové vrstvy,
- **ze znalosti průměru kuličky a mikroskopem změřených průměrů kulových vrchlíků je možné jednoduchým výpočtem stanovit tloušťku nanesené vrstvy,**
- obvyklá tloušťka vrstvy bývá pro soustružení, VBD =  $4 \div 10 \mu\text{m}$ , frézování =  $1 \div 3 \mu\text{m}$ .

### Odvození tloušťky

- pomocí mikroskopu odečteme hodnoty, které použijeme ve vztahu, kde  $d$  = průměr kuličky:

$$t = \frac{A^2 - B^2}{4 \cdot d} \text{ } \mu\text{m}$$



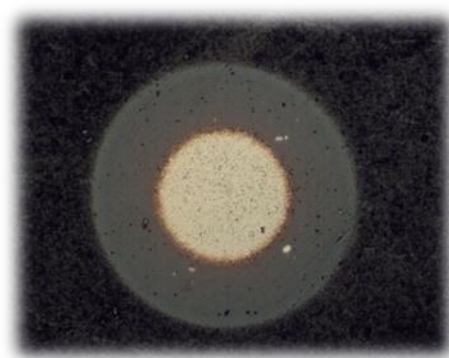
Obr. 36 Kalota pro výpočet [3]

## 6.5.1 Hodnocení tloušťky frézy

- na nástroji je aplikován povlak s označením Marwin SI (nanokompozitní povlak tvořený TiAlSiN), univerzální povlak pro frézování, vrtání, lisování, stříhání.

**Stanovení tloušťky:** dle obr. 36

$$t = \frac{A^2 - B^2}{4 \cdot d} = \underline{1,66 \mu m}$$



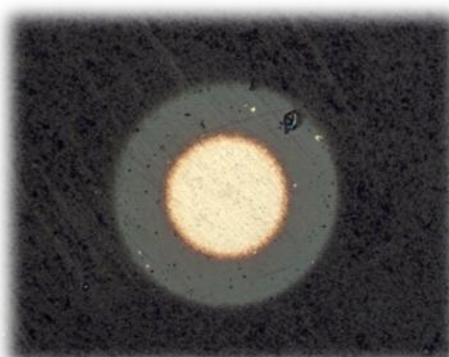
*Obr. 37 Kalota frézy*

## 6.5.2 Hodnocení tloušťky vrtáku

- na nástroji je aplikován povlak s označením Marwin G (povlak tvořený gradientní vrstvou TiAlN) pro frézování, vrtání.

**Stanovení tloušťky:** dle obr. 36

$$t = \frac{A^2 - B^2}{4 \cdot d} = \underline{1,11 \mu m}$$



*Obr. 38 Kalota vrtáku*

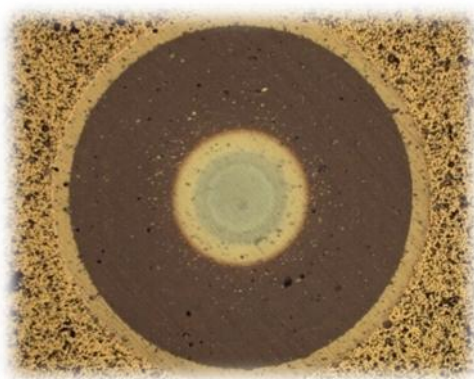


## 6.5.3 Hodnocení tloušťky VBD

- na nástroji je aplikován povlak s označením Marwin SI pro destičky (nanokompozitní povlak tvořený TiAlSiN), univerzální povlak pro frézování, vrtání, lisování, stříhání.

**Stanovení tloušťky:** dle obr. 36

$$t = \frac{A^2 - B^2}{4 \cdot d} = \underline{5,69 \mu m}$$



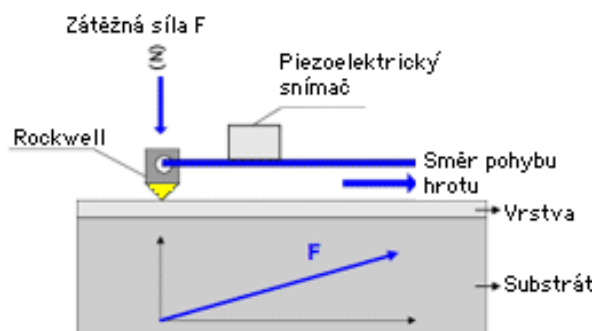
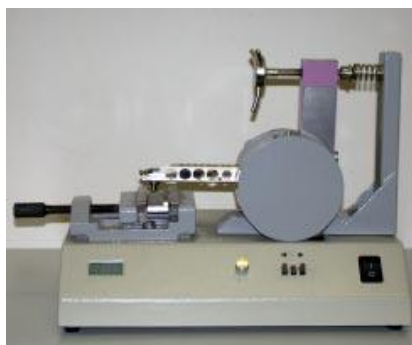
Obr. 39 Kalota VBD

## 6.6 Hodnocení adheze povlaku

- jak víme, z podkapitoly 5.5 jedná se o vyhodnocování přilnavosti vrstvy k povlakovanému nástroji za použití Scratch testeru.

**Popis měření:**

- využíváme principu postupně se zvyšující zátěžné síly na diamantový Rockwellův hrot obr. 40, při současném posouvání špičky hrotu po měřené vrstvě,



Obr. 40 Scratch tester a schéma principu měření [3]

- běžná zatížená síla je v rozsahu  $20 \div 100\text{N}$ ,
- při měření vrstvy je detekována akustická emise, která se mění při odtržení vrstvy-v N,
- po měření provádíme kontrolu pomocí optického mikroskopu *obr. 41*,

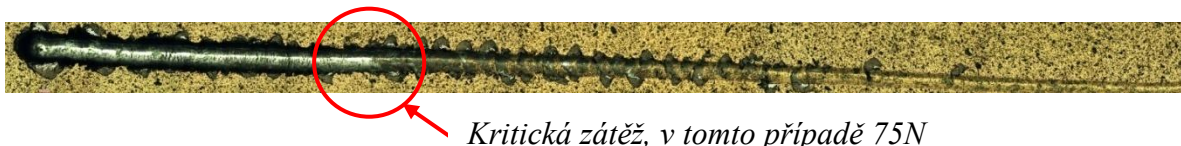


*Obr. 41 Optický mikroskop firmy SHM-cz*

- zde určíme vzniklé místo, kde došlo k odtržení vrstvy, a odečteme přesnou hodnotu kritické zátěže,
- nehodnotíme: trhliny ani kohezní porušení, ani odlupování vrstvy na okrajích stopy porušení,
- pro lepší vyhodnocení používáme vzorky z tvrdokovu povlakované stejnou vrstvou jako jsou dané nástroje,
- z hlediska obrábění a znalostí firmy SHM-cz je třeba, aby byla adheze vyšší než  $40 \div 50\text{N}$  (nutný požadavek), avšak se nikdy neprojevil rozdíl v životnosti v případě vrstev s adhezí 70 a např. 100N. [3]

### Příklad vyhodnocení adheze povlaku:

Celá stopa po Scratch testu:

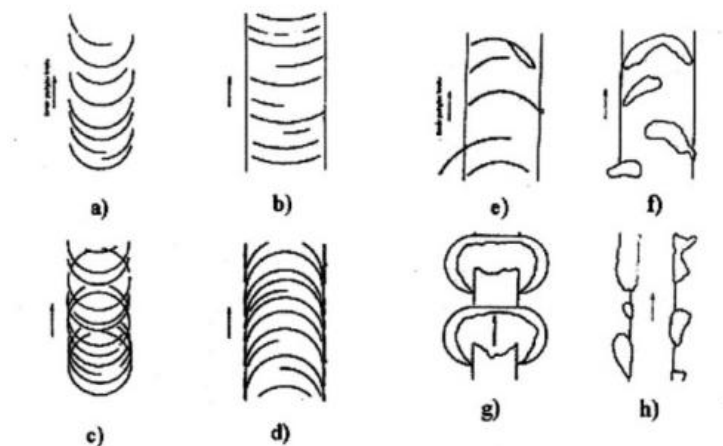


*Kritická zátěž, v tomto případě 75N*

*Obr. 42 Příklad hodnocení na Scratch testeru [3]*



## Druhy porušení při zkoušce:



Obr. 43 Druhy porušení vrstvy při zkoušce Scratch tester [3]

## Praskliny jdoucí přes celou tloušťku vrstvy:

- a) křehké napěťové trhliny
- b) tvárné napěťové trhliny
- c) Hertzovy praskliny
- d) Běžné praskliny

## Odlupování vrstvy na rozhraní:

- e) Vrásnění
- f) Odlupování vrásněním
- g) Klínové odlupování
- h) Odlupování zotavením plastické deformace

### 6.6.1 Hodnocení adheze povlaku frézy

- na nástroji je aplikován povlak s označením MARWIN SI,
- test byl prováděn v rozmezí  $40 \div 90\text{N}$ , přičemž na obr. 45 vidíme úsek zatížený silou  $50 \div 70\text{N}$ ,
- na obrázku je znázorněno **kritické místo**, kde došlo k **úplnému odtržení vrstvy**.

- odečetli jsme hodnotu kritické zátěže, která činí: **Kritická hodnota 60N**
- dle *obr. 44* druh porušení: **vrásněné odtrhávání**, které vzniklo při 45N než dojde k úplnému odlupování vrstvy při 60N.



*Kritická zátěž*

*Obr. 44 Hodnocení adheze povlaku na fréze*

### 6.6.2 Hodnocení adheze povlaku vrtáku

- na nástroji je aplikován povlak s označením MARWIN G,
- test byl prováděn v rozmezí  $40 \div 90\text{N}$ , přičemž na *obr. 44* vidíme úsek zatížený silou  $50 \div 80\text{N}$ ,
- na obrázku je znázorněno **kritické místo**, kde došlo k **začátku odlupování vrstvy**,
- odečetli jsme hodnotu kritické zátěže, která činí: **Kritická hodnota 65N**
- dle *obr. 44* druh porušení: odlupování křehké napětové trhliny, než dojde k úplnému odlupování vrstvy,
- **v tomto příkladu nedošlo k úplnému odtržení vrstvy.**



*Kritická zátěž*

*Obr. 45 Hodnocení adheze povlaku na vrtáku*

## 6.6.3 Hodnocení adheze povlaku VBD

- na nástroji je aplikován povlak s označením MARWIN SI pro destičky,
- test byl prováděn v rozmezí  $40 \div 90\text{N}$ , přičemž na *obr. 47* vidíme úsek zatížený silou  $65 \div 90\text{N}$ ,
- na obrázku je znázorněno **kritické místo**, kde došlo k **začátku odlupování vrstvy**,
- odečetl jsem hodnotu kritické zátěže, která činí: **Kritická hodnota 85N**
- dle *obr. 44* se druh porušení neurčuje, protože odlupování je na začátku a z obrázku je těžko poznat jaký druh odlupování,
- **v tomto příkladu nedošlo k úplnému odtržení vrstvy.**



*Kritická zátěž*

*Obr. 46 Hodnocení adheze povlaku na VBD*

## 6.7 Měření mikrotvrdosti povlaku

- pro účely vývoje nikoliv výroby.

### **Popis měření:**

- měření probíhá tak, že se po určitou dobu zvyšuje zátěž až do maximální hodnoty, pak následuje odtížení a odečet hodnoty ze zařízení (je napojený na počítač), která koresponduje s hloubkou respektive s velikostí stopy,
- z těchto údajů se zjišťuje výsledná tvrdost. Výsledkem měření je pak výsledné číslo odpovídající tvrdosti materiálu v HV, které se převádí na GPa,
- zatěžovací síla 70000mN po dobu  $t=20\text{s}$ , počet měření na jednotlivých vzorcích  $n=5$ .



*Obr. 47 Mikrotvrdoměr Ficherscope H100 [3]*

## 6.7.1 Měření mikrotvrdosti povlaku s označení MARWIN SI

- povlak z označením MARWIN SI, s tepelnou stabilitou 1000°C a tvrdostí, která by měla dosahovat alespoň 43GPa dle zkušeností firmy SHM-cz
- povlak je aplikován na **frézu a VBD**,
- výsledná **HV= 45663,7 N/mm<sup>2</sup> = 45,6GPa**

## 6.7.2 Měření mikrotvrdosti povlaku s označení MARWIN G

- povlak z označením MARWIN G, s tepelnou stabilitou 900°C a tvrdostí, která by měla dosahovat alespoň 33GPa dle zkušeností firmy SHM-cz,
- povlak je aplikován na **vrták**,
- výsledná **HV= 38454,2 N/mm<sup>2</sup> = 38,4GPa**

## Závěr

V závěru bakalářské práce se ohlédneme za naplněním jednotlivých dílčích úkolů, které byly stanoveny v průběhu práce. V úvodu jsme se seznámili s pomocí nashromážděných materiálů a informací s teorií slinutého karbidu a PVD povlaku. Bylo provedeno zhodnocení současného stavu povlakování a úpravy nástrojů ve firmě SHM-cz, navrhnutí experimentálních zkoušek a jejich vyhodnocení. V praktické části se teorie přenesla do praxe. Na nástrojích se před vlastní aplikací PVD povlaku **hodnotila pouze drsnost výchozího nástroje**, tedy drsnost nástroje po dodání od výrobce, abychom zjistili, jestli nástroje jsou kvalitně vyrobeny a opracovány. **Hodnocená drsnost je přijatelná požadavkům firmy SHM-cz**, tudíž nástroje byly mechanicky kvalitně vyrobeny a upraveny. Nástroj můžeme upravit pouze chemicky před aplikací povlaku např.: pro lepší přilnavost. **Po aplikaci PVD povlaku** (u frézy byl aplikován povlak s označení MARWIN SI, pro vrták MARWIN G a pro VBD MARWIN SI pro destičky) byla naměřena opět **drsnost povrchu povlaku nástroje**, ale z důvodu přichycení makročástic je **drsnost vyšší než jsou požadavky firmy SHM-cz**, tudíž se **provedly úpravy leštěním pro snížení drsnosti povlaku**. V kapitole 6.3 je uvedeno provedení třech metod. **Leštění v ruce** se aplikovalo na fréze. Z obrázku je zřejmé, že **úprava je hodnocena kladně**, z důvodu velkého snížení makročástic, které se nahromadily při aplikaci povlaku. Avšak leštění by mohlo být intenzivnější, tudíž by došlo k ještě lepšímu zjemnění povrchu povlaku. **Leštění mikropískováním** se provádělo na vrtáku. U vrtáku je nejdůležitější místo ve šroubovici. Po provedení leštění je vidět velký úbytek makročástic, ale velkou intenzitou pískování došlo k jemnému odstranění povlaku z místa ve šroubovici (viz nástroj, protože ve šroubovici je velmi tenká vrstva, protože „otvory“ jsou velmi těžce povlakované a platí závislost tloušťky povlaku na velikosti otvorů, avšak to nemá až takový vliv na kvalitu, odolnost a výdrž nástroje). Tudíž bych doporučoval menší a zároveň rychlejší intenzitu leštění. Třetí způsob **leštění v granulách s brusnou pastou** byl aplikován na nástroj VBD. Pro tento nástroj asi nejefektivnější způsob, jelikož dle *obr. 31* je vidět, že **leštění a povrch povlaku je velmi kvalitní**, až na drobné ulomení makročástic. Poté se změřila **skutečná drsnost samotné vrstvy povlaku**, která se provádí až **po leštění** na speciálně vyleštěných etanolech, z důvodu změření přesné drsnosti vrstvy povlaku bez nečistot a makročástic. **Etanol – normál sloužící jako určitý poměr, se kterým se přepočítávají změřené veličiny hodnoty normálu**, které jsou zjištěné a ověřené jinou nezávislou metodou. Například při měření drsnosti normálu s definovanou drsností. Měřením

tohoto normálu zjistíte určitou drsnost, která může být obecně odlišná od skutečné hodnoty drsnosti. Pak se etanol dále nekalibruje, tzn., že přístroj bude přepočítávat další měřené drsnosti podle poměru mezi změřenou drsností normálu a udávanou drsností. Tento poměr přístroj obvykle neuvádí, je to pro něj jakýsi vnitřní parametr používaný do doby další kalibrace. Měření **drsnosti samotné vrstvy povlaku je dle požadavků a výsledků firmy hodnoceno kladně. Další zkouškou bylo měření tloušťky povlaku.** Zde by se měly hodnoty pohybovat u VBD =  $5 \div 10\mu\text{m}$ , u frézování a vrtáku =  $1 \div 3\mu\text{m}$ , dle zkušeností firmy kvůli požadované kvalitě PVD povlaku. Měření probíhalo na zařízení kaloetesteru. **Tloušťka frézy  $1,66\mu\text{m}$ , vrtáku  $1,11\mu\text{m}$  a VBD  $5,69\mu\text{m}$  ukazují, že hodnoty jsou v mezích.** Je zřejmé, že tloušťka závisí na změnách některých parametrů procesu a taky na profilu nástroje. Rovná plocha má větší tloušťku povlaku než vrták, protože „otvory“ jsou velmi těžce povlakovatelné a platí závislost tloušťky povlaku na velikosti otvorů. **V předposledním měření se zjišťovalo, jaká je přilnavost (adheze) vrstvy k povlakovanému nástroji.** Požadovaná adheze by se neměla pohybovat při zatížení sil, méně než 50N. V praxi se nikdy neprojevil rozdíl životnosti v případě vrstev s adhezí 70N a např. 100N. **Kritická zátěž povlaku MARWIN SI na fréze je 60N. Hodnota kritické zátěže na povlaku MARWIN G na vrtáku je 65N a hodnota kritické zátěže povlaku MARWIN SI pro destičky na VBD je 85N.** Tudíž všechny sledované vrstvy vykazují velmi dobré adhezivní vlastnosti, protože hodnoty dosažených kritických zatížení přesahuje požadované zatížení 50N. **To znamená, že povlaky uspěli s tímto požadovaným výsledkem, jsou velmi kvalitní a substrát nevyžaduje změnu.** Na závěr všech měření proběhla zkouška mikrotvrdomosti, kde by měl typ povlaku odpovídat alespoň hodnotám z Tab. 2. Mikrotvrdomost povlaku MARWIN SI na fréze a VBD se pohybuje okolo 45,5GPa a na povlaku MARWIN G na vrtáku okolo 38GPa. **I tady se nám podařilo nástroje napovlakovat kvalitně, protože hodnoty mikrotvrdomosti se pohybují nad hodnotami v Tab. 2, tudíž splňují kritéria dle zkušeností firmy.** Dle dosaženého hodnocení jsem dospěl k závěru, že povlaky firmy SHM-cz jsou velmi kvalitní v oblasti aplikací PVD povlaku, jelikož splňují veškeré parametry požadované firmou a odběrateli. Doufám, že tato práce přinese dostatečné množství informací v oblasti hodnocení kvality PVD povlaku firmou SHM-cz nejen pro ty, kteří se už problematikou povrchových úprav zabývají, ale i pro všechny nové potencionální zájemce, kteří by chtěli získávat informace prostřednictvím studia. Na úplný závěr ještě jedou patří poděkování firmě SHM-cz hlavně p. RNDr. Michalu Šimovi a taky paní doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc. za možnost uskutečnit a vypracovat bakalářskou práci.

## Seznam použitých pramenů

- [1] MOHYLA, M. Technologie Povrchových úprav kovů 3. vyd. VŠB Ostrava 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7 Kapitola 3.1, 4.3, 4.4.
- [2] HUMÁR, A. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění 1. vyd. Brno: CCB spol. s.r.o., 1995. 265s. Kapitola Povlakované slinuté karbidy, ISBN 80-85825-10-4.
- [3] ŠÍMA, M. ZINDULKA, O. Prezentace v PowerPoint Povlaky, PVD vrstvy vyd. SHM-cz [cit. 2009-18-01].
- [4] URL: < <http://www.shm-cz.cz> > [cit. 2009-18-01].

## Seznam tabulek

Tab. 1	Nabídka PVD povlaků firmy SHM.....	12
Tab. 2	Vlastnosti PVD povlaků .....	12
Tab. 3	Typické PVD vrstvy .....	13
Tab. 4	Příklady úpravy a jejich vlastnosti .....	22
Tab. 5	Drsnost nástrojů před vlastní aplikací PVD povlaku .....	34
Tab. 6	Drsnost povlaku po aplikaci PVD povlaku na nástroji .....	37
Tab. 7	Drsnost nástrojů po leštění.....	46

## Seznam obrázků

Obr. 1	PVD povlak na nástroji .....	14
Obr. 2	Myčka Miele .....	21
Obr. 3	Vzhled povrchu povlaku po úpravě leštěním v ruce .....	23
Obr. 4	Brusná pasta pod mikroskopem .....	23
Obr. 5	Princip odpařování pomocí nízkonapětového oblouku .....	25
Obr. 6	Umístění katod .....	26
Obr. 7	Fréza pro hodnocení PVD vrstvy .....	31
Obr. 8	Vrták pro hodnocení PVD vrstvy .....	31
Obr. 9	VBD pro hodnocení PVD vrstvy .....	31
Obr. 10	Parametr Ra .....	32
Obr. 11	Parametr Rz .....	32
Obr. 12	Přenosný drsnoměr s ovládacím displejem MITUTOYO Surf test SJ-301 .....	33
Obr. 13	Reliéf povrchu frézy při měření drsnosti před aplikací povlaku .....	35
Obr. 14	Reliéf povrchu vrtáku při měření drsnosti před aplikací povlaku .....	35
Obr. 15	Reliéf povrchu VBD při měření drsnosti před aplikací povlaku .....	36
Obr. 16	Reliéf povrchu frézy při měření drsnosti po aplikaci povlaku .....	37
Obr. 17	Reliéf povrchu vrtáku při měření drsnosti po aplikaci povlaku .....	37
Obr. 18	Reliéf povrchu VBD při měření drsnosti po aplikaci povlaku .....	37
Obr. 19	Zařízení SEM od firmy VEGA.....	38
Obr. 20	Struktura umělých vláken.....	39



# Bakalářská práce

---

Obr. 21	Označení míst kontroly frézy metodou SEM .....	39
Obr. 22	Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění v ruce úseku 1 na fréze .....	40
Obr. 23	Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění v ruce úseku 3 na fréze .....	40
Obr. 24	Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění v ruce úseku 4 na fréze .....	41
Obr. 25	Zařízení Renfert pro leštění mikropiskováním .....	41
Obr. 26	Označení míst kontroly vrtáku metodou SEM .....	42
Obr. 27	Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění mikropiskováním úseku 1 na vrtáku .....	43
Obr. 28	Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění mikropiskováním úseku 3 na vrtáku .....	43
Obr. 29	Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění mikropiskováním úseku 4 na vrtáku .....	43
Obr. 30	Zařízení OTEC pro leštění v granulátech s brusnou pastou .....	44
Obr. 31	Porovnání břitů nástrojů vlivem leštění v granulátech .....	45
Obr. 32	Reliéf povrchu VBD při měření drsnosti .....	47
Obr. 33	Reliéf povrchu VBD při měření drsnosti .....	47
Obr. 34	Reliéf povrchu VBD při měření drsnosti .....	47
Obr. 35	Kaloetestr .....	48
Obr. 36	Kalota pro výpočet .....	48
Obr. 37	Kalota frézy .....	49
Obr. 38	Kalota vrtáku .....	49
Obr. 39	Kalota VBD .....	50
Obr. 40	Scratch tester a schéma principu měření .....	50
Obr. 41	Optický mikroskop firmy SHM-cz .....	51
Obr. 42	Příklad hodnocení na Scratch testeru .....	51
Obr. 43	Druhy porušení vrstvy při zkoušce Scratch testr .....	52
Obr. 44	Hodnocení adheze povlaku na fréze .....	53
Obr. 45	Hodnocení adheze povlaku na vrtáku .....	53
Obr. 46	Hodnocení adheze povlaku na VBD .....	54
Obr. 47	Mikrotvrdoměr Ficherscope H100 .....	55

## Seznam příloh

- Příloha I.      Nosič CD - s bakalářskou prací v elektronické verzi + přílohy
- Příloha II.     Reliéf povrchu nástrojů při měření drsnosti před aplikací povlaku